UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UFU

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PEDRO KISZKA JÚNIOR

SIMULADOR DAS INTERFERÊNCIAS DE CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA PARA ESTAÇÃO RÁDIO BASE DE “ACESSO MÚLTIPLO POR DIVISÃO DE CÓDIGO - CDMA” NA FAIXA DE FREQUÊNCIA DE 800MHz.

UBERLÂNDIA
2011

PEDRO KISZKA JÚNIOR

SIMULADOR DAS INTERFERÊNCIAS DE CAMPOS ELÉTRICO E MAGNÉTICO EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA PARA ESTAÇÃO RÁDIO BASE DE “ACESSO MÚLTIPLO POR DIVISÃO DE CÓDIGO - CDMA” NA FAIXA DE FREQUÊNCIA DE 800MHz

Dissertação Apresentada por Pedro Kiszka Júnior ao Departamento de Pós-Graduação da Universidade Federal de Uberlândia - UFU na Faculdade de Engenharia Elétrica, como Parte dos Requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica na Área de Telecomunicações com o tema: SIMULADOR DAS INTERFERÊNCIAS DE CAMPOS ELÉTRICO E MAGNÉTICO EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA PARA ESTAÇÃO RÁDIO BASE DE “ACESSO MÚLTIPLO POR DIVISÃO DE CÓDIGO - CDMA” NA FAIXA DE FREQUÊNCIA DE 800MHz. Aprovado em xx/xx/2010 pela banca examinadora.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Edilberto Pereira Teixeira

Prof. Dr. Luciano Martins Neto

Prof. Dr. Luciano Lima

Prof. Dr. Adriano Alves Pereira

UBERLÂNDIA
2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA - UFU

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PEDRO KISZKA JÚNIOR

SIMULADOR DAS INTERFERÊNCIAS DE CAMPOS ELÉTRICO E MAGNÉTICO EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA PARA ESTAÇÃO RÁDIO BASE DE “ACESSO MÚLTIPLO POR DIVISÃO DE CÓDIGO - CDMA” NA FAIXA DE FREQUÊNCIA DE 800MHz

Dissertação Apresentada por Pedro Kiszka Júnior ao Departamento de Pós-Graduação da Universidade Federal de Uberlândia - UFU na Faculdade de Engenharia Elétrica, como Parte dos Requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica na Área de Telecomunicações com o tema: SIMULADOR DE DAS INTERFERÊNCIAS DE CAMPOS ELÉTRICO E MAGNÉTICO EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA PARA ESTAÇÃO RÁDIO BASE DE “ACESSO MÚLTIPLO POR DIVISÃO DE CÓDIGO - CDMA” NA FAIXA DE FREQUÊNCIA DE 800MHz.

Prof. Dr. Luciano Vieira Lima, UFU - Orientador

Prof. Dr. Alexandre Cardoso , UFU
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

UBERLÂNDIA
2011

Dedicatória

Dedico e agradeço este trabalho à minha família pela compreensão à ausência que lhes causei para realização desse trabalho, Iraci, minha esposa, Carolina e Gabriela, minhas filhas, que sempre, de uma maneira ou de outra, estiveram aliadas aos meus propósitos. E a meus pais Maria Rosa Pauro Kiszka (*in memoriam*) e Pedro Kiszka (*in memoriam*) que sempre me encorajaram e proporcionaram-me condições para estudo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça da vida em minha família, com paz e harmonia e pela perseverança no sentido de cuidar dos meus.

Ao Professor Luciano Viera Lima, interlocutor atento e leitor criterioso, pela generosidade da orientação acadêmica neste trabalho.

Aos professores do curso de especialização em sistema elétrico de potência, pela disposição em ministrar as diversas disciplinas do curso.

Ao engenheiro, Manoel Berto Alves pelo incentivo e coorientação durante toda a elaboração do trabalho.

Ao amigo, Edval Delbone, pelo companherismo, apoio e incentivo durante o curso de Especialização. A amiga, Maria Cristina Aguiar Campos pela contribuição do desenvolvimento deste trabalho.

A Universidade UNIP, pela oportunidade de trabalho e desenvolvimento acadêmico ao Diretor e Professor da Engenharia Elétrica Pedro Frugoli.

RESUMO

Neste trabalho foram desenvolvidos e criados dois simuladores para cálculos e indicações de valores Máximos Permissíveis para os campos elétricos e magnéticos, bem como as Densidades de Potência em Estações Rádio Base, com a utilização de Tecnologia CDMA, na faixa de 800 MHz. Esses valores permissíveis foram referênciados e fundamentados pela Comissão Internacional de Proteção à Radiação não Ionizante.

O simulador 1 permite calcular as interferências de campo irradiado por estação rádio base, com entrada de dados tais como: Potência do Canal de Rádio; Ganho da Antena; Número de Canais de Rádio; Frequência de Operação; Perdas no Cabo; Atenuação da Direção; Distância Mínima; Reflexões. O referido simulador permite, de maneira rápida e sem a necessidade da execução de instrumentos para medições, alcançar os seguintes valores calculados: Potência Radiada Efetiva; Densidade de Potência do Setor; Campo elétrico no Setor; Campo Magnético no Setor; Densidade de fluxo Magnético; ponto de exposição máxima permitida de campo elétrico, bem como a densidade de potência. Os resultados são apresentados em gráficos, para clareza da visualização da densidade de potência no setor, assim como para a definição da área de cobertura.

O simulador abrange também pastas com especificações de antenas, cabos e torres utilizadas na telefonia celular, dos seguintes fabricantes: RFS World, Andrew, Karthein e Brasilsat. São apresentados diversos “links” de acesso à rede “internet” para complemento das especificações de cabos, antenas, etc.

O simulador 2 apresenta mais variáveis, procurando executar cálculos de forma rápida e segura auxiliando na obtenção de resuldados das perdas do sinal de rádio produzidas por estação rádio base. Nesse caso, o simulador apresenta telas representando as propagações denominadas “A” e “B”.

Através da propagação “A” podemos obter os cálculos de atenuação do sinal de rádio em áreas de modelos urbana, urbana densa, suburbana, aberta e rural. Nos cálculos de reflexão, adicionamos os coeficientes de reflexão, a relação de onda estacionária, a perda de retorno, a relação de potência refletida, assim como as perdas do sinal por descasamento de impedância.

Com a propagação “B” podemos obter como resultados as perdas do sinal de rádio na linha visada e não visada, a área efetiva, a densidade de potência, a potência recebida, o raio de cobertura, a conversão de níveis e a conversão de ganho em sistemas irradiantes.

PALAVRAS CHAVES: INTERFERENCIA DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS POR ESTAÇÕES RADIO BASE NO CDMA 800 MHz.

Abstract

We have developed and created a simulator for calculations and indicatios of maximum permissible values for the electric and magnetic fields as well as the power density in Rádio Base Station, with the use of CDMA technology, in the range of 800 MHz, being the values allowable were referenced and based on the International Commission on Non-ionizing radiation protection.

The simulator developed allows to calculate the interference field radiated by rádio base station, with input data such as channel power rádio; Gain Antenna; Number of Rádio Channels, Frequency Operation; Losses in Cable, Attenuation of Direction; Minimum distance; Reflections. To get quickly without the need for the implementation of instruments for measurements, calculations only in that simulator, we calculated values such as: Effective Radiated Power; Density Power Sector; electric field in the Sector; Magnetic Field in the sector; Flux Density Magnetic; point of maximum permissible exposure to electric field and the power density. As results presented in graphs for clarity of visualization of power density in the industry, as well as defining the coverage area.

Is also present in the simulator, folders with specifications of antennas, towers and cables used in mobile phones, whose manufacturers are: World RFS, Andrew, and Karthein Brasilsat. They are presented several "links" network access "internet" to complement the specifications of cables, antennas, etc. .. Moreover also part of the simulator to perform calculations quickly and safely assisting in obtaining results of loss of rádio signal generated by rádio base station. Where the simulator has paintings depicting the spreads, where we define propagation "A" and "B".

By spreading the "A" we can get the calculations of rádio signal attenuation models in areas of urban, dense urban, suburban, and rural open. Are added in the calculations of reflection coefficients of reflection, the standing wave ratio, return loss, the ratio of reflected power, as well as losses of the signal by impedance mismatch.

As for the spread "B" as we can get results in the loss calculations in the rádio signal line in sight and no sight, the effective area, the power density, the power received, the range, the level conversion and the conversion gain in radiant systems.

KEYWORDS: INTERFERENCE OF ELECTROMAGNETIC FIELDS FOR RADIO BASE STATION IN CDMA 800 MHz.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

1 – SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES

1.1 - Voltando à História.....30

1.1.1 - Telégrafo, telefone, rádio e TV.....30

1.1.2 - Telefonia móvel.....34

1.2 - Tipos de sistemas de telecomunicações em telefonia móvel 37

1.3 - Considerações finais do capítulo.....39

2 – MÉTODOS E TÉCNICA UTILIZADOS NA CRIAÇÃO DO SISTEMA CDMA

2.1 - Sistema Celular Digital CDMA.....40

2.1.1 - Introdução ao Padrão CDMA (IS-95).....40

2.2 - Espalhamento Espectral.....43

2.3 - Configuração dos Canais.....47

2.3.1 - Introdução.....47

2.3.2 - Canais do Enlace Direto (BTS para EM).....52

2.3.3 - Canais do Enlace Reverso (EM para BTS).....56

2.4 - Controle de Potência.....60

2.4.1 - Introdução.....60

2.4.2 - Controle de Potência do Estado Inicial.....63

2.4.3 - Controle de Potência do Enlace reverso.....64

2.4.3.1 - Controle Open Loop.....64

2.4.3.2 - Controle Closed Loop.....65

2.4.4 - Controle de Potência do Enlace Direto…….....69

2.5 - Modulação e Demodulação BPSK utilizados no Sistema CDMA.....70

2.5.1 - Modulação BPSK.....70

2.5.2 - Demodulação BPSK.....71

2.6 - Modulador e Demodulador QPSK.....73

2.6.1 - Introdução.....73

2.6.2 - Modulador QPSK.....73

2.6.3 - Demodulador QPSK.....75

2.6.4 - Aplicações no Sistema IS-95 CDMA.....76

2.7 - Composição da Infra-instrutora do Sistema CDMA.....77
2.8 - Composição do Sistema Irradiante.....80
2.8.1 - Introdução.....80
2.8.2 - Antenas Painel.....82
2.9 - Considerações finais do capítulo 84

3- SIMULADOR 1

3.1 - Introdução.....85
3.2 - Equacionamento do Sistema de Propagação de RF.....86
3.2.1 - Potência Efetiva Radiada (ERPN) em dBm.....87
3.2.2 - Potência Radiada Efetiva (ERPN) em (w).....87
3.2.3 - Densidade de Potência no Setor (Ss) em (dBm).....88
3.2.4 - Densidade de Potência no Setor (Ss) em (w/m'2).....88
3.2.5 - Distância Mínima r da ERB (m).....90
3.2.6 - Campo Elétrico no Setor (Es) (V/m).....90
3.2.7 - Valores Permissíveis pela ICNIRP, Frequência (MHz): 869 a 894.....90
3.2.1 – Campo Elétrico E_{EMP}.....90
3.2.7.2 - Densidade de Potência S_{EMP} (mW /cm'2).....90
3.2.7.3 - Densidade de Potência S_{EMP} (w /m'2).....90
3.2.7.4 - Campo Magnético H (A/m) 91
3.2.7.5 - Densidade de Fluxo Magnético B (µT).....91
3.3 - Operação do Simulador de Torre.....91
3.3.1 - Ferramentas Utilizadas no Simulador.....91
3.3.2 - Funções realizadas através do simulador 1.....93
3.4 - Introdução.....96
3.4.1 - Campo de Cálculos.....96
3.4.2 - Campo de Potência Radiada Efetiva (ERP_N).....97
3.4.3 - Campo "Valores Permissíveis ICNIRP".....98
3.4.4 - Campo de Densidade de Potência no Setor (Ss).....99
3.4.5 - Campo de Área de Cobertura.....100
3.4.6 - Campo de Distância Mínima (r).....102
3.4.7 - Campo Elétrico no Setor (Es).....103
3.4.8 - Campo de Conversões.....104
3.4.9 - Gráfico de Densidade de Potência "S".....105

3.4.10 - Gráfico de Área de Cobertura.....106
3.5 - Resumo do Campo de Cálculo.....108
3.6 - Campo de Antenas.....109
3.6.1 - Introdução.....109
3.6.2 - Antenas RFS…….....110
3.6.3 - Antenas da Brasilsat.....113
3.6.4 - Antenas Kathrein.....114
3.6.5 – Antenas Andrew..... 116
3.7 - Cabos..... 118
3.7.1 - Introdução.....118
3.7.2 - Cabos RFS.....119
3.7.2.1 - Cabos Standard.....120
3.7.2.2 - Cabo Superflexible.....122
3.7.2.3 - Cabos Ultraflexible.....124
3.7.3 - Cabos Andrew.....126
3.7.3.1 - Cabos Heliax Air Dieletric.....126
3.7.3.2 - Cabos Heliax Foam Dieletric.....128
3.8 - Torres.....130
3.9 - Site.....131
3.9.1 - Introdução.....131
3.9.2 - Relatório das Estações por Localidade.....132
3.10 - Simulado.....135
3.10.1 - Potência radiada efetiva (ERP_N) dBm.....136
3.10.2 - Potência radiada efetiva (ERP_N) W.....137
3.10.3 - Densidade de potência no setor com reflexão (Ss) dBm.....137
3.10.4 - Densidade de potência no setor sem reflexão (Ss) dBm.....137
3.10.5 - Densidade de potência no setor com reflexão (Ss) W/m’2.....137
3.10.6 - Densidade de potência no setor sem reflexão (Ss) W/m’2.....138
3.10.7 - Distância mínima (r) m.....138
3.10.8 - Campo elétrico no setor com reflexão (Es) V/m.....138
3.10.9 - Campo elétrico no setor sem reflexão (Es) V/m.....139
3.10.10 - Valores permissíveis: Δf (MHz): 869 a 894.....139
3.10.11 - Campo elétrico (exposição máxima permissível) E_{EMP} (V/m) 139
3.10.12 - Densidade de potência (exposição máx. perm.) S_{EMP} (W/m’2).....139

3.10.13 - Campo magnético H 140
3.10.14 - Densidade de fluxo magnético B (μT).....140
3.10.15 - Área de cobertura 140
3.10.16 - Conversões.....141
3.10.16.1 - Ganho da antena “G” (dBi).....141
3.10.16.2 - Ganho “dBμV”.....141
3.11 - Considerações finais do capítulo.....141

4 – SIMULADOR 2

4.1 - introdução.....142
4.2 - Radiação Isotrópica.....142
4.3 - Radiação Direcional.....145
4.4 - Perda no espaço livre.....146
4.5 - Modelo de Propagação A.....147
4.5.1 - Introdução.....147
4.5.2 - Modelo para área urbana.....148
4.5.3 - Modelo para área urbana densa.....149
4.5.4 - Modelo de área aberta / rural.....150
4.5.5 - Modelo para área sub-urbana.....151
4.6 - Modelo de Propagação – B.....151
4.6.1 - Introdução.....151
4.7 - Cálculos Adicionais.....155
4.7.1 - Cálculos de Reflexão.....155
4.7.2 - Conversão de correção dipolo / isotrópico.....156
4.7.3 - Conversão de níveis.....156
4.8 - Frequências utilizadas no Brasil em Sistema Celular.....157
4.9 - Operações realizadas pelo simulador..... 160
4.9.1 - Operação do Simulador - Propagação A.....161
4.9.1.1 - Área Urbana.....164
4.9.1.2 - Área Urbana Densa.....164
4.9.1.3 - Área Aberta / Rural.....165
4.9.1.4 - Área Sub-Urbana.....165
4.9.1.5 - Cálculo de Reflexão.....166

4.9.1.6 - Faixa de Frequência de Operação.....167
4.10 - Operação do Simulador - Propagação B.....167
4.10.1 - Perdas do sinal de RF na Linha Visada 170
4.10.2 - Área Efetiva.....170
4.10.3 - Perda do Sinal de RF na Linha não Visada.....171
4.10.4 - Densidade de Potência.....172
4.10.5 - Comprimento de Onda.....173
4.10.6 - Potência Recebida.....173
4.10.7 - Raio de Cobertura.....174
4.10.8 - Conversão de Dipolo / Isotrópico.....175
4.10.9 - Conversão de Nível.....175
4.11 - Simulado.....176
4.11.1 - Dados fornecidos ao Simulador (Propagação A/B).....176
4.11.2 - Área urbana.....176
4.11.3 - Área Urbana Densa.....177
4.11.4 - Área aberta / rural.....177
4.11.5 - Área sub-urbana.....177
4.11.6 – Cálculo de reflexão 177
4.12 - Propagação B.....178
4.12.1 - Perda do sinal de RF na linha Visada Lp (LOS) 178
4.12.2 - Área Efetiva (Ae).....178
4.12.3 - Perda do Sinal de RF na Linha não Visada. Lp (NLOS) 178
4.12.4 - Densidade de Potência ρ (W/m’2).....180
4.12.5 - Comprimento de Onda (λ).....180
4.12.6 - Potência Recebida (Pr).....180
4.12.7 - Raio de Cobertura (R).....180
4.12.8 - Conversão dipolo / isotrópico.....181
4.12.9 - Conversão de Níveis.....181
4.13 - Considerações finais do capítulo.....181
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....182

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Portadora CDMA.....41
Figura 2.2 - Espectro de frequência.....42
Figura 2.3 - Portadoras CDMA por banda.....42
Figura 2.4 - Relação entre taxa de transmissão e largura de banda.....44
Figura 2.5 - Espalhamento espectral.....45
Figura 2.6 - Desespalhamento espectral.....46
Figura 2.7 - Sinal de Recepção.....46
Figura 2.8 - Sinal recuperado.....47
Figura 2.9 - Matriz de Hadamard.....48
Figura 2.10 - Seqüência ortogonal.....48
Figura 2.11 - Composição dos canais do enlace direto.....52
Figura 2.12 - Diagrama de bloco dos canais do enlace direto.....56
Figura 2.13 - Código de Walsh no enlace reverso.....57
Figura 2.14 - Configuração do enlace reverso.....78
Figura 2.15 - Diagrama de bloco dos canais do enlace reverso.....60
Figura 2.16 - Controle de potência desejado.....62
Figura 2.17 - Processo de ajuste da potência inicial.....64
Figura 2.18 - Controle open loop.....65
Figura 2.19 - Atenuação média do sinal.....66
Figura 2.20 - Caminho do enlace direto e reverso.....67
Figura 2.21 - Controle de potência Close Loop.....68
Figura 2.22 - Inner loop e outer loop……..……...69
Figura 2.23 - Controle de potência do link reverso.....70
Figura 2.24 - Controle de potência do enlace direto.....71
Figura 2.25 - Modulador BPSK.....73
Figura 2.26 - Demodulador BPSK.....73
Figura 2.27 - Representação espacial do sinal da constelação QPSK.....76
Figura 2.28 - Modulador QPSK.....76
Figura 2.29 - Demodulador QPSK.....78
Figura 2.30 - Modulador OQPSK.....77
Figura 2.31 - Infraestrutura do sistema CDMA.....80
Figura 2.32 - Célula padrão com três setores.....82

Figura 2.33 - Torre com antenas de recepção e transmissão.....83
Figura 2.34 - Antena do tipo painel.....83
Figura 2.35 - Diagrama de irradiação vertical.....85
Figura 2.36 - Diagrama de irradiação horizontal.....86
Figura 3.37 - Diagrama de funcionalidade.....96
Figura 3.38 - Fluxograma do simulador.....97
Figura 3.39 – Campos do simulador.....98
Figura 3.40 - Campo de Cálculos.....99
Figura 3.41 - Potência Radiada Efetiva.....100
Figura 3.42 - Valores Permissíveis.....101
Figura 3.43 - Densidade de Potência no Setor.....102
Figura 3.44 – Área de Cobertura.....104
Figura 3.45 - Gráfico área de cobertura.....104
Figura 3.46 - Distância mínima.....105
Figura 3.47 - Valores Permissíveis.....106
Figura 3.48 - Campo Elétrico no Setor.....107
Figura 3.49 - Conversões.....108
Figura 3.50 - Densidade de Potência “S”.....109
Figura 3.51 - Área de Cobertura.....110
Figura 3.52 - Distância da antena ao ponto a ser medido.....111
Figura 3.53 - Tipos de Antenas da RFS.....113
Figura 3.54 - Antena da RFS Base Station.....114
Figura 3.55 - Product Data Sheet - ALE859012-42T0.....115
Figura 3.56 - Data Sheet antena SDV71 – 608 -1.....117
Figura 3.57 - Antenas Kathrein 806 – 960 MHz.....118
Figura 3.58 - Data Sheet antena 739 418.....119
Figura 3.59 - Antenas Andrew – 806 a 960 MHz.....120
Figura 3.60 - Antenas Andrew.....120
Figura 3.61 - Data Sheet antena LBX-3316DS-VTM.....121
Figura 3.62 - Cabos.....122
Figura 3.63 - Tipos de cabos RFS……123
Figura 3.64 - Cabos RFS Standard.....124
Figura 3.65 - Cabo LCF14-50J.....125
Figura 3.66 - Cabo Superflexible.....122

Figura 3.67 - Cabo SCF14-50J.....127
Figura 3.68 - Cabo RFS Ultraflexible.....128
Figura 3.69 - Cabo UCF78-50JA.....129
Figura 3.70 - Cabos da Andrew.....130
Figura 3.71 - Cabo Heliax Air Dieletric.....131
Figura 3.72 - Cabo HJ11-50.....132
Figura 3.73 - Cabos Heliax Foam Dieletric.....133
Figura 3.74 - Cabo Heliax Foam Dieletric – AL5-50.....134
Figura 3.75 - Estrutura cilíndrica (poste).....135
Figura 3.76 - Site.....136
Figura 3.77 - Relatório das Estações por Localidade.....137
Figura 3.78 - Número de ERBs em Uberlândia.....138
Figura 3.79 - Número de ERBs no Bairro de Santa Monica.....138
Figura 3.80 - Dados da Entidade.....139
Figura 3.81 - Atenuação Dir.....142
Figura 3.82 - Ângulo de inclinação “β”.....145
Figura 4.83 - Radiação Isotrópica.....148
Figura 4.84 - Ponto de medição do sinal de rádio.....157
Figura 4.85 - Estrutura rooftop.....158
Figura 4.86 - Ângulo de elevação.....159
Figura 4.87 - Faixas de frequência em 850 e 900 MHz.....163
Figura 4.88 - Faixa de frequência de 1.700 MHz e 1.800 MHz.....165
Figura 4.89 - Faixa de frequência 1.900 MHz e 2.100 MHz.....166
Figura 4.90 - Diagrama geral do simulador.....167
Figura 4.91 - Diagrama de atividade propagação - A.....169
Figura 4.92 - Diagrama de bloco Propagação – A.....170
Figura 4.93 - Diagrama de bloco da área urbana.....171
Figura 4.94 - Diagrama de bloco da área urbana densa.....172
Figura 4.95 - Diagrama de bloco área aberta/rural.....172
Figura 4.96 - Diagrama de bloco de uma área sub-urbana.....173
Figura 4.97 - Diagrama de bloco do cálculo de reflexão.....173
Figura 4.98 - Faixas de frequência.....174
Figura 4.99 - Diagrama de Atividade Propagação “B”.....175
Figura 4.100 - Diagrama de Bloco Propagação – B.....176

Figura 4.101 - Diagrama de Bloco das Perdas da Linha Visada.....177
Figura 4.102 - Diagrama de Bloco da Área efetiva.....177
Figura 4.103 - Diagrama de Bloco Perdas do Sinal na Linha não Visada.....179
Figura 4.104 - Diagrama de Bloco da Densidade de Potência.....180
Figura 4.105 - Diagrama de Bloco do Comprimento de Onda.....180
Figura 4.106 - Diagrama de Bloco da Potência de Recepção.....181
Figura 4.107 - Diagrama de Bloco Raio de Cobertura.....182
Figura 4.108 - Diagrama de Bloco de Conversão.....182
Figura 4.109 - Diagrama de Bloco Conversão de Níveis.....183

LISTA DE TABELA

Tabela 2.1 - Operação “OU” exclusiva.....45

Tabela 2.2 - Transmissão de uma seqüência ortogonal.....49

Tabela 2.3 - Recepção de uma seqüência ortogonal correta.....49

Tabela 2.4 - Recepção de uma seqüência ortogonal incorreta.....49

Tabela 2. 5 - Matriz de Walsh.....51

Tabela 2.6 - Distribuição dos canais de RF, segunda portadora de RF.....53

Tabela 2.7 - VOCODER de taxas variáveis.....54

Tabela 2.8 - Mapeamento de símbolos e bits.....75

Tabela 2.9 - Características elétrica e mecânica ,APXV866513-7.....85

Tabela 3.10 - Funções do simulador.....112

Tabela 4.11 - Sub-faixas de transmissão.....164

Tabela 4.12 - Sub-faixas do sistemas SMP.....166

LISTA DE ABREVIATURAS

- AMPS — Serviço de telefonia móvel avançada
- CDMA — Acesso múltiplo por divisão de código
- FSK — Chaveamento por deslocamento de frequência
- FDMA — Acesso múltiplo por divisão de frequência
- ERB — Estação Rádio Base
- EM — Equipamento Móvel
- CCC — Central de Controle de Comutação
- SAT — Tom de Supervisão de Áudio
- ST — Tom de Sinalização
- FVC — Canal de voz direto
- RVC — Canal de voz reverso
- RSR — Relação Sinal Ruído
- FOCC — Canal de Controle Direto
- RECC — Canal de Controle Reverso
- TDMA — Acesso Múltiplo por Divisão do Tempo
- Wc — Portadora
- IS-95 — Interim Standart 95
- Eb — Energia de bit
- DS — Seqüência Direta
- PN — Peseudo ruído
- FH — Salto de frequência
- TH — Salto de tempo
- k — Fator de Reuso de Célula
- BTS — Estação base transceptora
- W — Código de Walsh

- bps — Bits por segundo
- SCI — Syncronized Capsule Indicator
- VOCODER — Codificador e Decodificador de Voz
- MM — Mixed Mode Bit
- CRC — Cheque de redundância cíclica
- FQI — Indicador de qualidade de quadro
- ESN — Número de Série do terminal móvel
- FER — Taxa de erro de quadro
- BPSK — Chaveamento de deslocamento de fase binário
- T — Tempo de duração de cada símbolo
- r(t) — Sinal recebido
- si(t) — Sinal Transmitido
- n(t) — Ruído
- QPSK — Chaveamento de deslocamento de fase em quadradura
- DEMUX — Demutiplexador
- OQPSK — Chaveamento por deslocamento de fase em quadradura de compensação
- BSC — Estação base controladora
- OMC — Controle de operação e manutenção
- OMC-R — Controle de operação e manutenção de rádio
- OMC-T — Controle de operação e manutenção de transmissão
- OMC-S — Controle de operação e manutenção de chaveamento
- MSC — Centro de chaveamento móvel
- VLR — Registro de usuário visitante
- SMC — Central de mensagens curta.
- HLR — Registro de usuário local

- BC — Centro de bilhetagem
- VM — Caixa postal
- PSTN — Rede de telefonia pública chaveada
- ISDN — Rede digital de serviço integrado
- CH — Canal
- TRX — Transceptores
- RF — Rádio Frequência
- SBY — Reserva
- DUP — Duplexador
- N — Número de canais de rádio de um setor.
- P_t — Potência de transmissão
- G — Ganho
- ERP — Potência Radiada Efetiva
- P_t — Potência de Transmissão do Canal de RF da BTS.
- Gt — Ganho da Antena
- S_s — Densidade de Potência no Setor
- $A_{ten.dir}$ — Atenuação de Afastamento do Lóbulo Principal da Antena
- d — Atenuação devido a Distância
- Gt — Ganho da Antena na Transmissão
- ERPi — Potência Efetiva Radiada Isotrópica
- r — Distância Mínima
- RSR — Relação Sinal Ruído
- CPA — Controle por Programa Armazenado.
- ICNIRP — Comissão Internacional de proteção a radiação não ionizante
- E_s — Campo Elétrico no Setor

- Ss — Densidade de potência no setor
- E_{EMP} — Campo Elétrico E_{EMP} (exposição máxima permitida)
- S_{EMP} — Densidade de Potência (exposição máxima permitida)
- H — Campo Magnético
- B — Densidade de Fluxo Magnético
- λ — Comprimento de onda
- c — Velocidade da luz
- f — Frequência
- C — Perdas no cabo de RF
- $A_{ten.dir}$ — Atenuação de afastamento do lóbulo principal da antena
- d — Distância do ponto de medição na torre
- L — Dimensão máxima total da antena transmissora
- E — Intensidade do campo elétrico
- E_{EMP} — Campo elétrico E_{EMP} (exposição máxima permitida)
- Gt — Ganho da antena de transmissão
- A — Altura da antena
- T — Inclinação da antena em relação ao solo
- h — Altura da antena
- ρ — Densidade de potência
- Gr — Ganho de antena de recepção
- Ae — Área efetiva
- Prx — Potência de recepção
- H — Eficiência da antena
- Aiso — Área efetiva de uma antena isotrópica
- Lp — Perda do sinal de rádio no espaço livre
- H_b — Altura da antena (estação rádio base)

- h_m Altura da estação móvel
- C_1,C2,C0 Correção do sinal de RF em função da frequência
- Lp u Perda do sinal de rádio na área urbana
- Lp ud Perda do sinal de rádio na área urbana densa
- Lp r Perda do sinal de rádio na área rural
- Lp o Perda do sinal de rádio na área aberta
- Lp su Perda do sinal de rádio na área sub urbana
- Lp (LOS) Perda do sinal de rádio na linha visada
- L diff Perda do sinal de rádio ocasionada por difração
- ΔW Distância entre móvel e a edificação (rooftop)
- h_{roof} Altura da antena instalada no rooftop
- w Largura da rua
- Ko, ka, kf Constante de propagação
- r Coeficiente de reflexão
- Pr Potência refletida
- Pd Potência direta
- Ar Perda de retorno
- Pr/P Relação de potência refletida
- Am Perda por descasamento de impedância
- Lp (NLOS) Perda do sinal na linha não visada
- R Raio de cobertura

INTRODUÇÃO

A telefonia celular é uma atividade imprescindível nos dias de hoje, o que explica o aumento explosivo de estações rádio base no território nacional. Com efeito, no final do segundo trimestre de 2008 existiam 3,66 bilhões de celulares no mundo, com uma penetração de 55 celulares a cada 100 habitantes. A partir do terceiro trimestre de 2010, os celulares chegaram a um patamar de 5, 1 bilhões. O Brasil está no 5º. lugar no ranking de celulares no mundo, tendo terminado o ano de 2010 com 197,5 milhões de celulares com uma densidade de 101,96 celulares por habitante. A partir de dezembro de 2009 o território nacional apresentou um montante de 49.080 mil sites instalados. [4.8]

Entretanto, é difícil o acesso a modelos de predição dos valores de rádio propagação por telefonia móvel que possam dar sustentação à conexão de equipamentos sem fio nos meios de comunicação, bem como auxiliar as pesquisas que têm como interesse questões que envolvem os campos eletromagnéticos.

A dificuldade de acesso aos modelos de predição se deve ao grande número de equipamentos a serem adquiridos para os devidos experimentos e ao excessivo custo dos equipamentos e do Software que emula cálculos e gráficos. Com o propósito de avaliar os custos dos equipamentos a serem utilizados em medição de campos eletromagnéticos, fizemos uma cotação (out/2010) para termos um valor real do investimento:

- Analisador de Espectro PSA 3HZ-6.7GHz Agilent Technologies modelo “E4443A”, Valor R$ 131.371,62 (sem impostos).

- Medidor de Campos Eletromagnético Seletivo Narda modelo “SEM 3006” Valor R$ 210.456,32 (prazo de entrega 90 dias).
- GPS modelo Garmin GPSMAP 60, Valor R$ 2.399,00.
- Antenas Yagi - Aquário com as faixas de frequência.

  CF 817- 824 a 955 MHz, Valor R$ 145,00

  CF 1817- 1710 MHz a 1895 MHz, Valor R$ 140,00

  CF 1917- 1896 MHz a 2000 MHz, Valor R$ 180,00
- Bussola Digital código 2111, Valor R$ 179,90
- Binóculo Leidory 8 – 24X50 BK, Valor R$ R$ 315,00
- Software de Apoio de alta frequência, Valor 21.435,81 + 55 IPI
- Investimento Total: R$ 366.622,56 (sem impostos)

As empresas fornecedoras de intrumento de medição não disponibilizam equipamentos e nem treinamento específico da instrumentação para fins de pesquisa. Também não dão nenhum tipo de apoio ou suporte em seus laboratórios para a realização de experimentos de medição e não facilitam o acesso à metodologia envolvida na medição. Os Órgãos regulamentadores e Fiscalizadores também não oferecem nenhuma espécie de informação a respeito de níveis de medições por eles realizados.

As operadoras de serviços de telefonia móvel celular responsável pela área de cobertura nacional realizam laudos de medições bem como projetos de site, mas não fornecem essas informações.

Tendo em vista que a medição da rádio propagação requer o emprego de instrumentos específicos cuja aquisição exige altíssimos investimentos e o treinamento de operação e de medição não é acessível a alunos, professores e pesquisadores em geral que desejam manipular esses dados, e que os

equipamentos revelam-se continuamente limitados frente ao desenvolvimento de novas tecnologias, torna-se necessário criar um sistema especialista que favoreça o acesso a modelos de predição dos valores de rádio propagação. Além disso, convém salientar que o site em telefonia móvel celular envolve conhecimentos específicos (wireless, comutação, transmissão, energia, sistema irradiante, infraestrutura, normas e recomendações) que nem sempre o pesquisador domina. Todos esses fatores impossibilitam o avanço de pesquisas acadêmicas no âmbito das ERBs, não obstante o seu enorme crescimento no território nacional.

Todas essas dificuldades motivaram-nos a pesquisar e usar uma metodologia científica para analisar os níveis permissíveis de campo eletromagnético e a densidade de potência gerados por ERBs. Para fins de segurança, adotamos os níveis de referência permissíveis sugeridos pelas Diretrizes Internacionais da ICNIRP e respaldados pela OMS. As informações das ERBs, instaladas no território nacional foram obtidas através de sites confiáveis da internet.

Nesse sentido, este trabalho tem como objeto de estudo o sistema especialista capaz de produzir e medir os valores de campos eletromagnéticos gerados por estações rádio base na tecnologia CDMA.

Com o objetivo de contribuir para solucionar o impasse – necessidade *versus* impedimento de medição de propagação de sinal de rádio –, assumimos o desafio de construir dois simuladores de site em estação rádio base visando a, com custos bastante reduzidos, informar e orientar o pesquisador a gerar e medir campos eletromagnéticos. O simulador é um recurso interativo na aquisição dos conhecimentos envolvidos no site, facilitando, por sua vez, o entendimento de sua

operação e a obtenção de resultados de forma rápida e segura das interferências de “Campo Elétrico”, “Campo Magnético” e Densidade de Potência nas estações rádio base de “Acesso Múltiplo por Divisão de Código – CDMA” na faixa de frequência de 800 MHz.

Com a construção de simuladores, pretendemos atingir os seguintes objetivos específicos:

1. Calcular os valores de máximo permissíveis para campo elétrico, campo magnético e densidade de potência;
2. Gerar gráficos de densidade de potência e da área de cobertura produzidas por estações rádio base;
3. Recuperar as especificações técnicas de equipamentos utilizados em site de telefonia móvel tais como antenas, cabos e torres;
4. Obter a localização de sites licenciados em nível nacional;
5. Propor modelos de predição de propagação de sinais de rádio em zonas urbanas, urbanas densas e rural, na tecnolocia CDMA;
6. Analisar as condições de perda de propagação do sinal rádio nas linhas visada e não-visada.

Os objetivos 1-5 serão alvo do simulador “A” e o objetivo 6 do simulador “B”.

Nesses simuladores os valores permissíveis dos “campos elétrico e magnético” são colocados e comparados com os valores permissíveis e referênciados pela “International Comission on Non-Ionizing Radiaction Protection” – “ICNIRP”. Para o cálculo dos níveis de sinal recebido, adotamos os modelos de predição baseados em dados experimentais e extensivos em análise estatística na faixa de frequência entre 150 MHz e 2GHz. Para dimensionarmos a

perda do sinal em um percurso médio, adotamos os modelos Okumura-Hata e Walfisch – Ikegami. Na construção dos simuladores utilizamos os seguintes aplicativos: software da Delphi 2007 para o equacionamento, Flash Cs3 da Adobe para gerar animações gráficas, plataforma Windows e Arquivos HTML, uma vez que as informações são carregadas pelo software. Excluímos o uso de banco de dados como forma de obter especificações técnicas de cabos e antenas, para não ocupar grandes espaços de armazenamento. Além disso, o banco de dados requer constantes atualizações com o aparecimento de produtos novos e descontinuidades dos mesmos. Isso implica que há necessidade de conexão com a WEB para importar dados técnicos e localização de sites. Convém sinalizar que o emprego de arquivos HTML não inviabiliza os cálculos, dispensando por sua vez a conexão com a internet.

O trabalho está organizado em quatro capítulos e traz cinco apêndices. No primeiro capítulo, esboçamos a justificativa e os objetivos do estudo; no segundo capítulo situamos historicamente os sistemas de telecomunicações e apresentamos a sua tipologia nos dias atuais; no terceiro capítulo definimos os conceitos e métodos descritivos da tecnologia “CDMA”, que servirão de alicerce para a construção dos simuladores; nos quarto e quinto capítulos tratamos dos simuladores construídos neste estudo e, por fim, tecemos algums considerações finais. Nos apêndices I a IV acham-se conceitos gerais das tecnologias de telefonias em geral, bem como as instrumentações necessárias a essa aplicação. O apêndice V traz a cotação de laudo radiométrico.

CAPÍTULO 1

SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES

Interligando regiões remotas e transpondo os mares, as telecomunicações, desde o momento de seu surgimento no século XIX, têm aproximado e integrado a humanidade, do ponto de vista comercial, social e cultural. Por trás dessa função integradora, as telecomunicações têm causado impactos sociais, econômicos e políticos, graças à busca constante de meios e novas tecnologias, com o aprimoramento dos equipamentos e do sistema dessa área, e de formas reguladoras.

Este capítulo traz, em um primeiro momento, algumas informações sobre a implantação das telecomunicações no Brasil, com foco nas ERBs; em seguida, apresenta as famílias de tecnologias desenvolvidas até o presente momento.

1.1. Voltando à História

Nesta seção traçamos um esboço do desenvolvimento das telecomunicações no mundo e, em particular no Brasil. Após o apanhado histórico das primeiras teconologias, passamos a tratar da telefonia móvel.

1.1.1. Telégrafo, telefone, rádio e TV

Na sociedade industrializada que vinha se formando na Inglaterra em meados do século XIX utilizavam-se pequenos geradores para a iluminação de casas e trechos de ruas. Era o início do uso da energia elétrica. Entreranto, foi

preciso esperar até 1882 para a construção da primeira usina (Penteado Jr. e Dias Jr. 1995, apud Trindade & Trindade), período a partir do qual a indústria da eletricidade alcançou outros países que apresentavam crescimento industrial (França, Alemanha, EUA, entre outros). O Brasil de meados do século XIX procurou se adequar aos novos tempos. O imperador D. Pedro II, preocupado pela imagem externa negativa do Brasil, preso que estava ao sistema escravista de produção, se empenhou na criação da ideia da "civilização nos trópicos" e procurou favorecer a incorporação das conquistas técnicas modernas: a eletricidade, a ferrovia e o telégrafo, cuja implantação se deu em 1852. A elite imperial passou a investir nessas conquistas. O Visconde de Mauá se propôs, em 1872, a lançar um cabo telegráfico ligando o Brasil à Europa, mas adversidades financeiras obrigaram-no a transferir os direitos a uma companhia de capital inglês, que conectou Recife a Lisboa. Antes da nova ordem política – a República – o Brasil já contava com dezenove mil quilômetros de linhas telegráficas em funcionamento. [4.12]

Em 1876, por ocasião da Exposição Universal da Filadélfia, Graham Bell[1] supervisionou a instalação da primeira estação telefônica, com capacidade de transmitir mensagens de um aparelho a outro, localizados a uma distância de 150 metros. Presente a essa exposição, D. Pedro II negociou a compra de telefones com Graham Bell e instalou linhas telefônicas entre o Palácio da Quinta da Boa Vista e as residências de seus ministros. Não durou muito tempo para esse serviço ser estendido ao setor comercial do Rio de Janeiro, que em 1922 contava com trinta mil aparelhos telefônicos. São Paulo, que avançava

[1] O mecânico florentino Antonio Meucci patenteou uma máquina para transmissão de sons em 1871, mas Graham Bell contestou a patente. Apesar de a Corte Suprema dos EUA ter reconhecido a prioridade do florentino, o nome de Bell ficou ligado à invenção do telefone. De qualquer modo, foi Bell quem vislumbrou as várias possibilidades oferecidas pelo novo aparelho e colocou em prática as primeiras transmissões telefonônicas.

economicamente graças à cultura do café, alcançou o número de vinte e dois mil aparelhos. Às vésperas da mudança da capital para Brasília, o Rio de Janeiro contava com duzentos e quarenta e seis mil aparelhos e São Paulo com duzentos e sessenta mil.

Paralelamente, ao avanço da telefonia, uma nova modalidade de telecomunicação, por meio de ondas eletromagnéticas, se introduzia no final do século XIX. Com efeito, em 1895, Guglielmo Marconi efetuou a primeira transmissão de rádio e em 1901 realizou a primeira transmissão transoceânica lançando sinais entre a Cornualha, na Inglaterra, e Terra Nova, no Canadá.

No Brasil os primeiros experimentos em transmissão e recepção sem fio foram realizados nesse mesmo período (1893 e 1894) em São Paulo, pelo padre gaúcho Roberto Landell de Moura, entre a Avenida Paulista e o Alto de Santana, em uma distância aproximada de oito quilômetros. Para aumentar o alcance das transmissões, passou a utilizar ondas curtas.

Em ocasião das comemorações do centenário da independência, foram montadas duas estações experimentais no Rio de Janeiro: a Rádio Corcovado, pela “Westinghouse”, no alto do Morro do Corcovado, e a estação da “Western Electric” na Praia Vermelha. Em 1923, surgia a era do rádio brasileiro, graças à fundação da Rádio Sociedade do Rio de Janeiro, por Edgard Roquete Pinto e Henry Morize. Não durou muito, o rádio comercial ganhou popularidade e foi usado como instrumento oficial do governo de Getulio Vargas, que criou a Agência Nacional e o programa a “Hora do Brasil”.

Com a invenção dos tubos iconoscópicos, sucedidos pelo “*orthicon” e “vidicon”*, que possibilitavam a transmissão de imagens reais, surgiu a televisão, cujas primeiras transmissões regulares datam da década de 1940 nos Estados

Unidos. O Brasil teve a sua primeira transmissão de TV na década seguinte, por meio da TV Tupi de São Paulo.

Apesar do ingresso do Brasil no mundo das telecomunicações, até a medade da década de 1950, as telecomunicações mantinham-se em uma fase embrionária, devido à precariedade dos serviços telefônicos e televisivosno país. Foi preciso esperar o plano desenvolvimentista alimentado por Juscelino Kubistschek para viabilizar o crescimento do interior. Tornou-se patente a necessidade de um sistema nacional de telecomunicações que facilitasse a agilizasse a difusão de informações, de forma a alcançar a “integração nacional”.

A RÁDIOBRÁS, do grupo americano “RCA Victor”, inaugurou o serviço de comunicação por Telex entre o Brasil e os Estados Unidos; o Serviço Nacional de Telex foi criado em 1960, interligando Brasília, São Paulo, Campinas, Belo Horizonte e Rio de Janeiro. Na nova capital federal (Brasília) instalou-se uma rede telefônica urbana moderna. Nesse mesmo ano, foram inauguradas doze novas emissoras de TV no Brasil e a visita do presidente norte-americano “Einsenhower”, por ocasião da inauguração de Brasília, propiciou a instalação de vinte teletipos para a cobertura do evento e o envio de rádiofotos de Brasília e do Rio de Janeiro para os Estados Unidos. Apesar de toda essa movimentação, os serviços de telefonia não primavam pela confiabilidade, pois ligações interurbanas foram esquecidas.

Os anos seguintes foram férteis no âmbito das regulamentações em telecomunicações: em 1961, o Decreto-Lei 50.666 criou o Conselho Nacional de Telecomunicações, em 1962 a Lei 4.117 aprovou o Código Nacional de Telecomunicações e o Conselho Nacional de Telecomunicações (CONTEL). Entretanto, o desenvolvimento efetivo das telecomunicações no Brasil se deve

aos governos militares, que, com o olhar na integração nacional do país e o foco na Segurança Nacional, adotou uma série de medidas para disciplinar e consolidar esse campo. Em 1965 criou-se a EMBRATEL, visando a integação nacional por meio do sistema de Discagem Direta a Distância (DDD). Em 1967 criou-se o Fundo Nacional de Telecomunicações (FNT) e o Ministério das Comunicações. Através do CONTEL, o Brasil afiliou-se ao INTELSAT e passou a participar do sistema internacional de telecomunicações por satélite. Em 1974 inaugurou-se o sistema internacional de discagem direta (DDI).

1.1.2. A Telefonia móvel

A introdução da telefonia móvel no Brasil remonta ao ano de 1972. Tratava-se de um sistema de baixa capacidade, com tecnologia “IMTS” (Improved Mobile Telephone System), anterior à tecnologia celular. Instalado em Brasília, esse sistema operava com 150 terminais. Em 1984, deu-se início à análise de sistemas de tecnologia celular, adotando-se o padrão americano de tecnologia analógica “AMPS” (Advanced Mobile Phone System ou Sistema de Comunicação de Telefonia Celular). Com o aumento da demanda, o Ministério das Comunicações expandiu a Banda de frequência para o sistema móvel celular e utilizou o padrão E-AMPS (Extended AMPS).

A popularização da telefonia móvel só se deu em 1990, ano em que a TELERJ implantou o sistema de telefonia celular no Aterro do Flamengo, Rio de Janeiro. Única operadora nacional na época, a capacidade da Telerj Celular era bastante reduzida, contando com apenas dez mil aparelhos e 17 estações ERB’s. A entrada no sistema, além do preço de assinatura equivalente a US70, exigia o desembolso de uma garantia em dinheiro (caução), o que não inibia a longa fila

de espera (1,5 milhões de pessoas) para a obtenção de aparelhos que chegavam a pesar mais de meio quilo. Celulares menores e mais leves começaram a surgir no ano seguinte, mas sua potência era cinco vezes menor do que a dos modelos anteriores.

Do ponto de vista do usuário, pouca coisa mudou durante quase uma década: o preço da assinatura e o valor tarifário das ligações eram proibitivos e os aparelhos não apresentavam nenhuma inovação. Os equipamentos também não esboçavam avanços, até o evento “Rio 92”, que atraiu representantes do mundo inteiro para a discussão sobre ecologia. Para facilitar a comunicação das autoridades, construiu-se uma série de antenas espalhadas no Galeão, Centro, Zona Sul, Barra da Tijuca e Rio centro. Cinco anos depois a Telerj já contava com 300 mil clientes.

Apesar do peso do evento “Rio 92”, o grande momento o mercado das telecomunicações no país estava ainda por vir. Trata-se do ano de 1998, em que foi criada, pela Telebrás, a “holding” “Tele Sudeste Celular”, que 23 reunia as operadoras da Banda A atuantes no Rio e no Espírito Santo. Nesse mesmo ano, o consórcio Telefônica Internacional (empresa espanhola) - Iberdrola - “NTT Itochu” adquiriu o controle da Tele Sudeste. Detentora de boa parte do mercado de tecnologia “GSM” na Europa, a Telefônica implementou no Brasil a infra-estrutura da tecnologia “CDMA”. O número de antenas cresceu para 851 (652 com tecnologias analógicas e 199 digitais). Esse crescimento, porém, não foi acompanhado de planejamento na implantação da telefonia móvel. As antenas eram instaladas aleatoriamente. Apareciam em topo de edifícios, hospitais, caixa de água, torres, fachada de prédios. Sob a pressão social e política, as

Concessionárias de Telecomunicações foram forçadas a criar planos de instalação de antenas para atender as metas exigidas pela antiga TELEBRÁS.

Ainda em 1998 a “Algar Telecom Leste” (ATL) implaca como concorrente no Brasil, com a tecnologia TDMA, atendendo à Banda B de telefonia móvel nos estados do Rio e do Espírito Santo.

Atualmente, quatro grandes companhias de telefonia móvel operam no Brasil usando três tecnologias diferentes. A mais antiga é a CDMA. Introduzida e explorada pela Telefônica, a CDMA tem se desenvolvido no sentido de oferecer velocidade para enviar/receber mensagens e acessar a internet pelo celular. A “ATL” ainda adota a “TDMA”, mas dá indícios de migrar para a tecnologia “GSM”, usada pelas operadoras “Oi”, da “Telemar”.

Atualmente, todas as tecnologias em funcionamento no Brasil são digitais, o que significa melhor e maior cobertura sem os ruídos característicos da tecnologia analógica, bem como a ampliação das funcionalidades dos seus aparelhos. Se na tecnologia analógica, o telefone era usado apenas para comunicação verbal, na tecnologia digital passou a ser usado para enviar SMS, tirar fotos, filmar, despertar, gravar lembretes, jogar e ouvir músicas. Ganhou recursos como o GPS, câmera, rádio FM e leitor MP3 e instalação de programas variados, tornando-o um computador de mão Palm ou PocketPC integrado. Passou a ser utilizado em vídeo-conferências em tempo real e para acessar a internet.

Enfim, o avanço foi enorme, não só do ponto de vista qualitativo do produto como do ponto de vista numérico. Segundo a União Internacional das Telecomunicações, o Brasil é o 5.o maior mercado do mundo em telefonia celular, totalizando 197,5 milhões de aparelhos e 49.080 mil sites instalados.

1.2. Tipos de sistemas de telecomunicações em telefonia móvel

Para melhor compreensão sobre a tecnologia em telecomunicações, apresentamos a seguir algumas tecnologias de telefonia móvel, bem como um resumo de funcionamento de cada uma, sua construção básica e uma abordagem geral e sua importância dentro do contexto.

O **FDMA** “Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência” é um sistema de celular analógico que trabalha com uma faixa de frequência por canal de rádio que abrange a frequência de 30 kHz para conversação ou controle. Primeiro sistema de acesso a ser implantado no mundo, apresentou como inconveniente a baixa capacidade de canais de rádio para conversação. Para aumentar a capacidade de canais se utilizou a técnica de repetição de frequência ocasionando por sua vez a interferência de canais com a mesma frequência. Outro inconveniente é que este sistema de acesso favorecia a clonagem do seu aparelho móvel e apresentava um custo elevado na sua implantação.

O ***TDMA*** "Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo" é um sistema de celular digital que funciona dividindo um canal de frequência em até seis intervalos de tempo. Cada usuário ocupa um espaço de tempo na transmissão, o que impede posiveis problemas de interferência. A tecnologia TDMA é uma das mais utilizadas em todo o mundo. Segundo a organização “3G Américas”, cerca de 120 milhões de pessoas no planeta utilizam telefones celulares TDMA. É também a tecnologia mais utilizada no continente americano, o seja, 100% da população dos Estados Unidos tem cobertura da tecnologia TDMA, pois também é a única presente nacionalmente na Colômbia, no Equador, na Nicarágua, no

México e no Panamá. Aproximadamente 90 operadoras em 35 países e outros territórios do continente americano utilizam a tecnologia TDMA.

O ***GSM***, "Sistema Global para Comunicações Móveis", é um sistema de celular digital baseado na combinação dos sistemas FDMA e TDMA. Assim como o "GSM", que é considerada a evolução desses sistemas, pois permite, entre outras coisas, a troca dos dados do usuário entre telefones através do "*Sim-Card"* e acesso mais rápido a seviços "WAP" e "Internet", utilizando como banda de comunicação do sistema "GPRS" que é um Serviço de Rádio de Pacote Geral, é uma tecnologia que aumenta as taxas de transferência de dados nas redes GSM. A tecnologia "GSM" é tida como padrão para telefonia celular digital na Europa desde 1992 e está presente nas Américas desde 1993. Com isto, é, sem dúvida, o sistema celular de maior cobertura em todo o mundo.

O ***CDMA*** significa "Acesso múltiplo por divisão de código". Tanto os dados quanto a voz são separados dos sinais por códigos, e depois são transmitidos em um amplo conjunto de frequências. Assim, sobra mais espaço para a transferência de dados. Esse foi um dos principais motivos do "CDMA" ser a tecnologia mais indicada para o acesso ao "3G", que consiste em acesso a banda larga e troca de pesadas mensagens multimídias. Aproximadamente 14% do mercado global pertencem ao CDMA. Para a tecnologia "3G", o CDMA escolheu as tecnologias CDMA 1x EV-DO e EV-DV. Ademais, o "CDMA" é um sistema de celular digital que funciona transformando a voz ou dados, transmitidos pelo usuário de seu celular em um sinal da rádio codificado, que é recebido pelas antenas e transformado novamente para os receptores. Essa tecnologia CDMA foi escolhida pela "União Internacional de Telecomunicações"

como tecnologia-base para uma das migrações previstas para a terceira geração de telefonia celular que vai permitir transmissões, por exemplo, de vídeo "*on-demand"* com alta qualidade. Algumas de suas evoluções já disponíveis, tais como "CDMA2000" e "W-CDMA", já permitem que o "telefone celular" sirva de acesso rápido à Internet.

1.3 Considerações finais

Esse tipo de telefonia mais recente tem como centro a tecnologia digital, em função dos tempos que vem se beneficiando dessas tecnologias, portanto entre os sistemas apresentados e descritos sucintamente. O "CDMA" se mostrou de maneira mais adaptado a pesquisa em questão para criação do simulador.

No próximo capítulo, estão definidos os conceitos e métodos utilizados para a criação do simulador, bem como é descrita e apresentada a tecnologia "CDMA".

CAPÍTULO 2

MÉTODOS E TÉCNICA UTILIZADOS NA CRIAÇÃO DO SISTEMA CDMA

A criação desse simulador visa à obtenção e manipulação de conhecimentos, ou seja, insere-se no campo da engenharia do conhecimento. Normalmente esses conhecimentos são utilizados na criação de sistemas especialistas. Trata-se de conjuntos de regras e/ou procedimentos que manipulam conhecimentos para resolução de problemas em diversas áreas de dados domínios, da mesma forma que os peritos ou especialistas humanos resolveriam, utilizando as lógicas simbólicas, procedimentos e regras, oriundas da prática para encontrar as dadas soluções. Para tanto, são descritos a seguir os conceitos, métodos e técnicas utilizadas na tecnologia CDMA.

2.1 – Sistema Celular Digital CDMA.

2.1.1 – Introdução ao Padrão CDMA (IS-95)

A técnica de múltiplo acesso CDMA nos oferece algumas vantagens sobre os acessos FDMA e TDMA para aplicações em sistemas de comunicação móvel. Um sistema celular digital baseado nessa técnica promete-nos aumento de capacidade em relação a tecnologias baseadas nos acessos FDMA e TDMA que foi padronizado como Interim Standart 95 (IS-95) e foi projetado para ser compatível com o sistema analógico AMPS e as BTS e EM podem ser produzidos para operação dual-mode. Chamamos de operação dual mode aquela que podemos compartilhar o mesmo espectro de frequência com tecnologias distintas, por exemplo, AMPS e CDMA. Uma produção piloto de equipamentos dual-mode

CDMA IS-95/AMPS foi disponibilizada pela empresa Qualcomm em 1994. O padrão IS-95 permite a cada usuário dentro de uma célula e em células adjacentes utilizar a mesma banda de frequência, com base na técnica de espalhamento espectral empregada. Através do protocolo IS-95 eliminamos completamente a necessidade de planejamento de frequência em uma área de serviço não atendida. Com objetivo de facilitarmos a transição suave do AMPS para IS-95, cada canal IS-95 ocupa aproximadamente 1.23 MHz de espectro em cada enlace, o que equivale a 10% do espectro disponível para o serviço celular.

A figura 2.1 mostra a portadora CDMA com 1,23 MHz, acrescida das bandas de guarda de 270 kHz , totalizando 1770 kHz. [2.1]

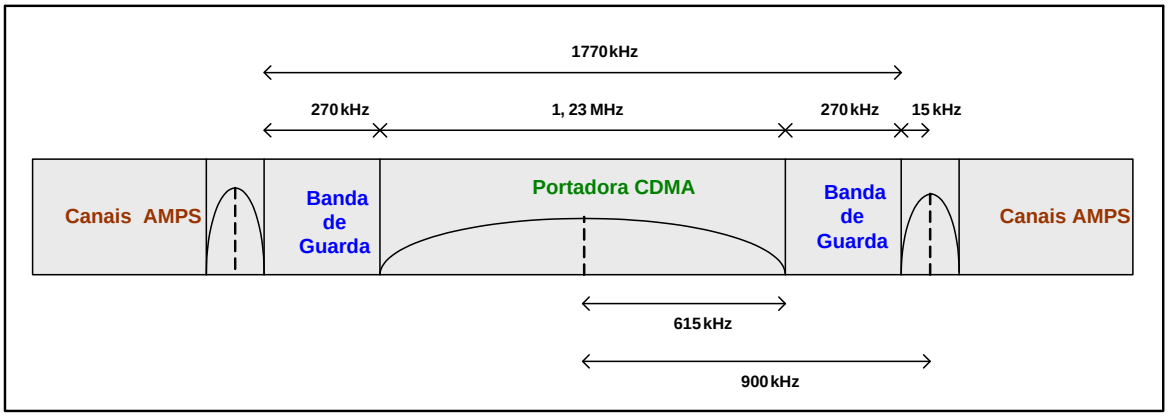


Figura 2.1 – Portadora CDMA

O serviço móvel celular ocupa uma banda de 25 MHz por operadora (Bandas “A” e “B”). Os esforços da Qualcomm e associados resultaram na adoção do Padrão IS-95, para CDMA celular [2.2]

A figura 2.2 “Espectro de frequência” mostra as bandas A e B através das quais o sistema AMPS e CDMA compartilham o mesmo espectro de frequência, distribuindo serviços de telefonia móvel. [2.2]

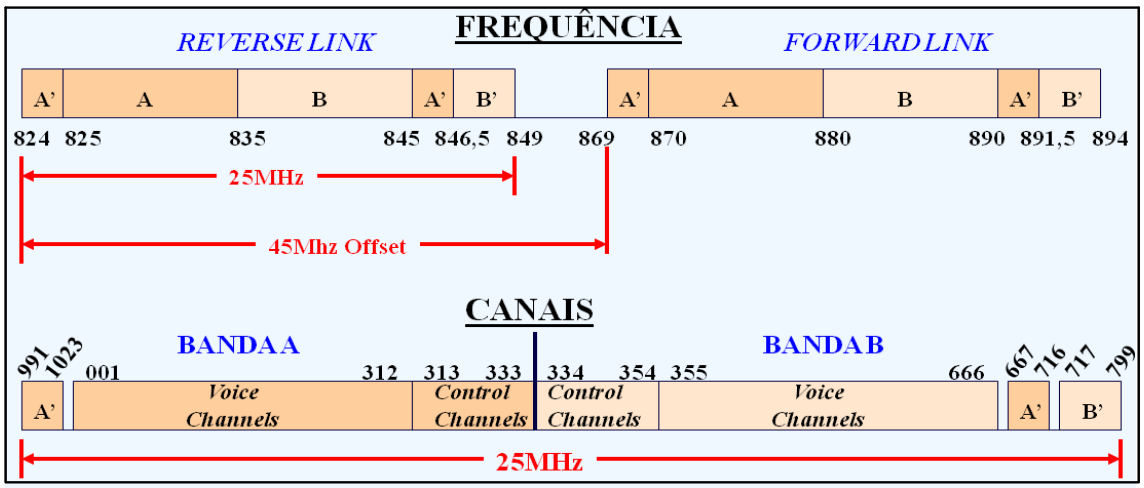


Figura 2.2 – Espectro de frequência.

Na figura 2.3 “Portadoras CDMA por banda” estão apresentadas a ocupação das portadoras CDMA nas bandas A e B. A banda A apresenta oito portadoras, contendo uma portadora primária (P) que sobrecai no canal 283 do AMPS e uma portadora secundária (S) que cai no canal 691. A banda B apresenta nove portadoras, sendo que a portadora primária cai no canal 384 do AMPS e a portadora secundária sobrecai no canal 777. Destacamos que a sequência de ocupação das portadoras CDMA é: primeiro, a portadora primária; segundo, a portadora secundária e depois as demais portadoras por banda.

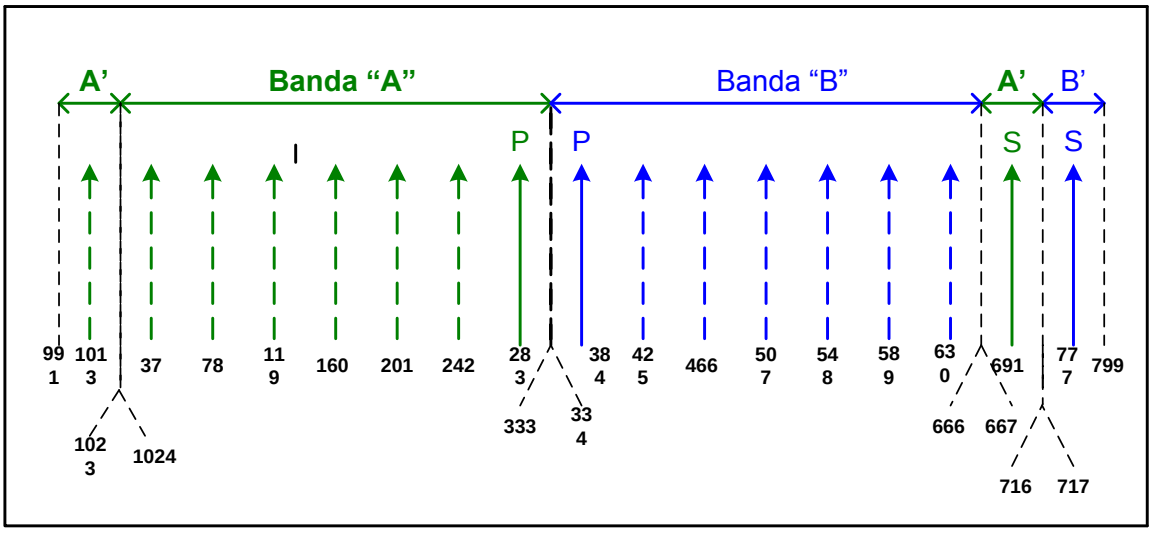


Figura 2.3 – Portadoras CDMA por banda.

No próximo item explicaremos as técnicas de espalhamento espectral e desespalhamento utilizadas na tecnologia CDMA. [2.4]

2.2 – Espalhamento Espectral

Os primeiros desenvolvimentos usando os conceitos relacionados com as técnicas atuais de espalhamento espectral ocorreram no inicio da década de 40, envolvendo aplicações militares. Desde as primeiras aplicações, até o presente momento, tem havido um processo de evolução devido principalmente ao aprimoramento de componentes e circuitos.

As técnicas adquiriram grande popularidade nas comunicações, nos últimos 20 anos, desde que os artigos acerca do assunto começaram a aparecer na literatura especializada, depois de quase duas décadas de sigilo em função de interesses militares. [2.3]

A principal característica do sistema de espectro espalhado está relacionada a sua banda passante, que é bem superior àquela dos sinais de banda base, ou modulados por meio de técnicas convencionais. A maneira como o espectro é espalhado é essencial, normalmente realizado por um código independente do dado transmitido. O receptor precisa de uma réplica do código, sincronizado em tempo, para recuperar os dados. [2.3]

A técnica de Spread spectrum consiste em combinar o sinal de informação (voz, dado, sinalização) com um código cuja taxa de transmissão é bem superior a taxa de transmissão da informação. O resultado é o espalhamento da informação em uma banda muito maior que o espectro utilizado. A vantagem do método é que a quantidade de energia por banda torna-se pequena, garantindo uma maior imunidade à interferência. Além disso, devemos observar que esta diferença na concentração de energia permite uma fácil diferenciação, e

conseqüentemente separação entre sinais espalhados (codificados) e sinais não espalhados mesmo que utilizem a mesma portadora no mesmo tempo. É sabido que a largura da banda ocupada por um sinal digital é função direta da sua taxa de transmissão de bits. Quanto maior a taxa de transmissão, maior a largura de banda necessária, desde que se mantenha o mesmo tipo de modulação. [2.3]

A figura 2.4 “Relação entre taxa de transmissão e largura de banda” a seguir mostra a técnica de espalhamento espectral com sua respectiva taxa de transmissão da informação e código.

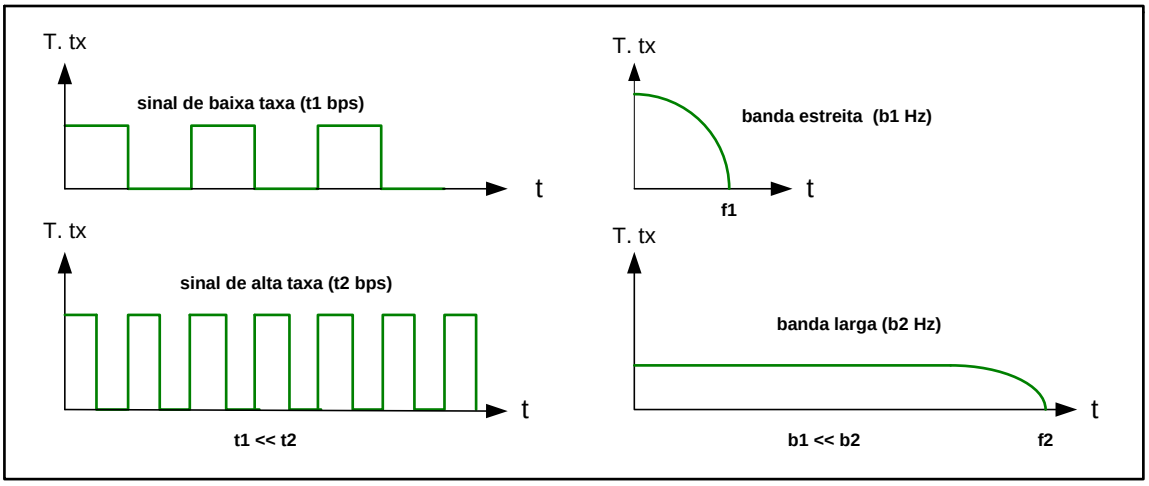


Figura 2.4- Relação entre taxa de transmissão e largura de banda.

Partindo deste princípio, a tecnologia de espalhamento espectral combina com dois ou mais sinais, sendo um de informação, por exemplo, voz ou dados com taxa de transmissão baixa e usa um código de identificação de canal com uma taxa de transmissão elevada. Esta combinação é feita através da operação ou exclusivo, onde a saída reconhece a entrada (nível lógico 1) quando a entrada tem níveis diferentes. Dizemos que o sinal está espalhado na transmissão quando tem níveis lógicos diferentes entre X e Y, por outro lado, dizemos que o sinal está desespalhado na recepção quando os níveis lógicos de

entrada são iguais. A tabela 2.1 mostra a operação “ou exclusivo” que dá como resultado os sinais espalhado e desespalhado. [2.2]

x	y	Sinal transmitido	Sinal Recebido
0	0	0	desespalhado
0	1	1	espalhado
1	0	1	espalhado
1	1	0	desespalhado

Tabela 2.1 – Operação “OU” exclusivo

O processo de transmissão da informação voz, dados, ou sinalização “f1” combinada com um código de alta taxa de transmissão “c1” faz a operação ou exclusivo “f1 + c1”. Modulada com uma portadora “Co”, faz o processo de espalhamento espectral, de modo que a energia do sinal é distribuída em toda a banda de frequência, compreendida em 1,23 MHz. Na figura 2.5 “Espalhamento espectral” mostra a técnica de espalhamento espectral através de um canal de rádio. [2.1]

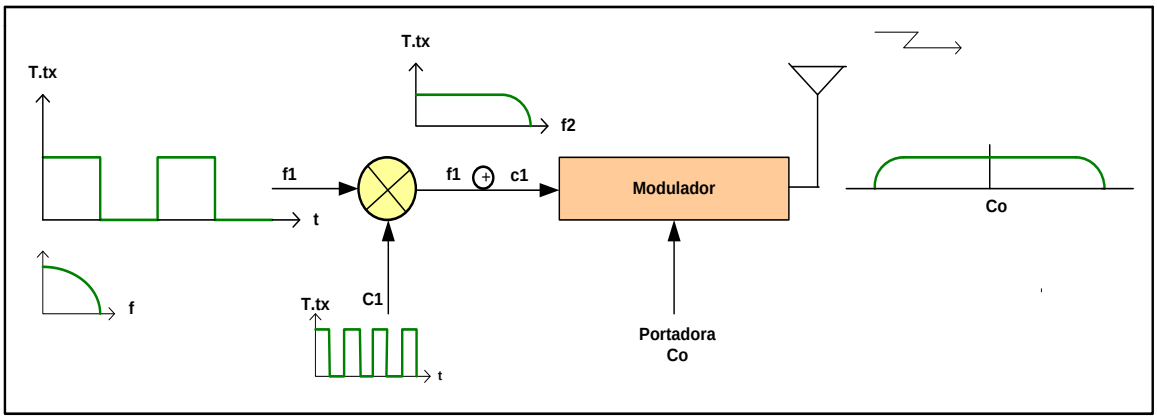


Figura 2.5 – Espalhamento espectral

Na recepção do sinal o processo é inverso. Recebemos a somatória de todos os sinais espalhados com seus respectivos códigos de identificação distintos para cada canal de rádio frequência. O sinal é demodulado com a portadora de “Co” e conseqüentemente faz o seu batimento com seu respectivo

código “C1”, no qual o sinal será por sua vez desespalhado. Com a figura 2.6 apresentamos o “Desespalhamento espectral” [2.4]

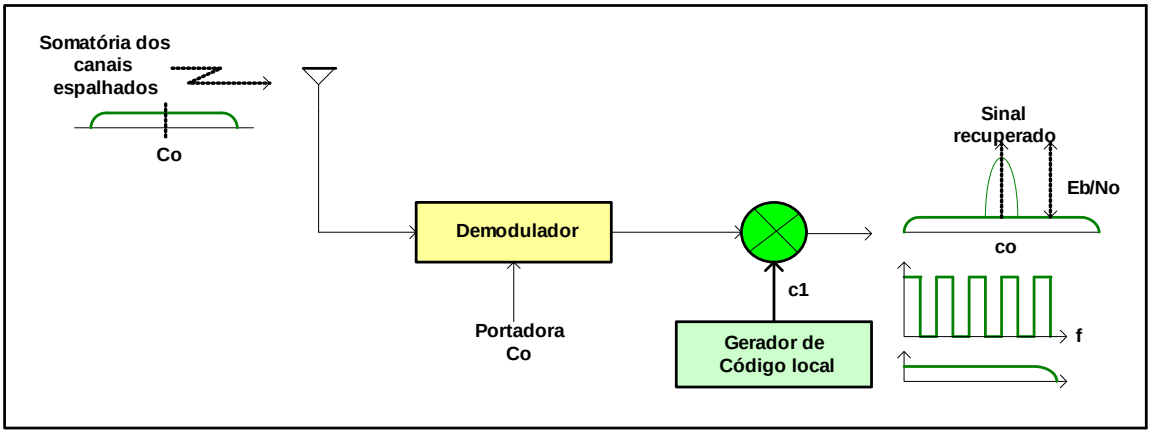


Figura 2.6 – Desespalhamento espectral.

Realizamos na recepeção a operação “OU” exclusivo com o sinal espalhado proveniente da transmissão e por sua vez será desespalhado com respectivo código de identificação do canal. Com a expressão na figura 2.7 mostramos o sinal recuperado na recepção. [2.4]

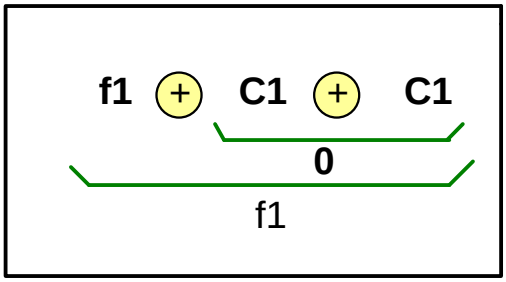


Figura 2.7 - Sinal de Recepeção

Outro parâmetro importante para o sistema CDMA é a energia de bit do sinal desejado após o seu desespalhamento, dividida pela somatória das energias de bit dos sinais espalhados dos usuários interferentes e com as contribuições das interferências externas, denominadas Eb/No. A figura 2.8 mostra o sinal recuperado, com a relação da energia de bit com a contribuição do ruído. [2.4]

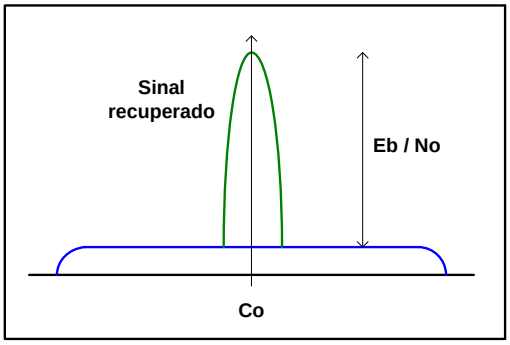


Figura 2.8 – Sinal recuperado.

Podemos enumerar algumas vantagens dos sistemas de espectro espalhado.

- Baixa probabilidade de interceptação do sinal, devido à aleatoriedade do código de espalhamento.
- É possível esconder o sinal no ruído de fundo, de forma a dificultar a sua recepção por aqueles que não conhecem o código de espalhamento.
- Util como um meio de atingir diversidade em canais com percurso múltiplo.
- Permite o endereçamento de um grupo seleto de usuários no mesmo canal, isto é, permite acesso múltiplo por divisão em código.

No item a seguir explicaremos a matriz de Hadamard, as principais características dos códigos Walsh e a sua ortogonalidade e a matriz de Walsh com seus respectivos códigos dando origem a seus respectivos canais.

2.3 – Configuração dos Canais.

2.3.1- Introdução

No sistema CDMA, todos os usuários transmitem em uma mesma banda de rádio frequência de 1,23 MHZ. Com o objetivo de evitarmos a interferência mútua no enlace direto entre a BTS e o EM, usamos os códigos de Walsh para separar individualmente usuários (voz ou dados) enquanto eles simultaneamente ocupam a mesma banda. Os respectivos códigos de Walsh são

usados no protocolo de interfase rádio IS-95 e são setados em 64 seqüências ortogonal binária. Geramos os códigos a partir da matriz de Hadamard, que é uma forma recursiva de se obter uma matriz de ordem duas vezes superior a ordem da matriz anterior. A figura 2.9 mostra a matriz de Hadamard. [1.3]

$$0 \rightarrow \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ \hline 0 & 1 \end{array} \rightarrow \begin{array}{cc|cc} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{array} \quad \text{ou} \quad X_{2n} = \begin{array}{c|c} Xn & Xn \\ \hline Xn & \overline{Xn} \end{array}$$

Figura 2.9 - Matriz de Hadamard.

A principal característica dos códigos de Walsh é sua ortogonalidade, ou seja, eles possuem correlação cruzada zero. Duas seqüências são ortogonais quando o resultado de uma operação ou exclusivo entre elas resulta em outra seqüência com um número de “1” igual ao número de “0”. A figura 2.10 mostra uma seqüência ortogonal com uma operação “OU exclusiva”. [2.4]

$$\begin{array}{cccc} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ \hline 0 & 1 & 1 & 0 \end{array}$$

Figura 2.10 – Seqüência ortogonal.

A existência da ortogonalidade garante uma boa isolação entre os canais do sistema devido a perfeita recuperação do sinal só é possível se for aplicado no demodulador um sinal idêntico ao aplicado a transmissão. As tabelas 3, 4 e 5 ilustram o processo da transmissão, recepção de uma seqüência ortogonal. [2.4]

Na transmissão é realizada a operação “Ou Exclusivo”, da “Informação” como a “Sequência ortogonal” e tendo como resultado o “Sinal transmitido”. A tabela 2.2 apresenta a transmissão de uma sequência ortogonal. [2.2]

Transmissão					
Informação	**1**	**0**	**0**	**1**	**1**
Seqüência ortogonal	1001	1001	1001	1001	1001
Sinal Transmitido	0110	1001	1001	0110	0110

Tabela 2.2 – Transmissão de uma seqüência ortogonal.

Na recepção com sequência correta, realiza-se a operação “Ou exclusivo” do “Sinal recebido” com a “sequência ortogonal correta”, significando que a informação foi transmitida. A tabela 2.3 exemplifica a recepção com sequência correta. [2.3]

Recepção com seqüência correta					
Sinal recebido	0110	1001	1001	0110	0110
Seqüência ortogonal correta	1001	1001	1001	1001	1001
Informação	1111	0000	0000	1111	1111
	1	**0**	**0**	**1**	**1**

Tabela 2.3 – Recepção de uma seqüência ortogonal correta.

Na recepção com sequência incorreta é realizada a operação “Ou Exclusivo” do “Sinal recebido” com a “Sequência ortogonal incorreta” resultando uma informação incorreta. A tabela 2.4 exemplifica a recepção.

Recepção com seqüência incorreta					
Sinal recebido	0110	1001	1001	0110	0110
Seqüência ortogonal incorreta	1111	1111	1111	1111	1111
Informação	1001	0110	0110	1001	1001
	?	**?**	**?**	**?**	**?**

Tabela 2.4 – Recepção de uma sequência ortogonal incorreta.

A utilização desta técnica só ocorre no enlace direto, onde a geração dos códigos é síncrona. No enlace reverso, como não é possível estabelecer este sincronismo, os códigos de Walsh têm outra aplicação. A matriz de Walsh tem

uma composição de 64 código (0 a 63) que vai compor o código de cada canal no enlace direto. Na tabela 2.5 representamos a matriz de Walsh com seus respectivos códigos. [1.7]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
2	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
3	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
4	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0
6	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
7	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
9	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0
10	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
11	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0
12	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
13	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
14	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
15	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
18	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
19	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
20	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
21	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1
22	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
23	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
26	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
27	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1
28	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
29	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	#	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0
30	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
31	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
33	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
34	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
35	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
36	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
37	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1
38	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
39	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
41	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
42	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
43	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
44	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
45	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	#	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0
46	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
47	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
50	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
51	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
52	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
53	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1
54	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
55	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	#	1	1	0	1	0	0	1	0	0
56	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
57	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0
58	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
59	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0
60	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
61	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1
62	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
63	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1

Tabela 2.5 – Matriz de Walsh.

No próximo item será apresentado o diagrama de bloco dos canais do enlace direto com suas respectivas funções, taxa de transmissão, códigos e será destacada a sua importancia na transmissão da informação.

2.3.2 – Canais do Enlace Direto (BTS para EM)

Chamamos de enlace direto a transmissão da BTS para o EM. Na tecnologia CDMA assume-se que, para o usuário acessar o meio de transmissão, um enlace direto utiliza uma combinação de divisão em frequências, ou seja, divisão em seqüências de máximo comprimento e técnicas de múltiplo aceso através de sinais ortogonais. Empregamos a divisão de frequências quando o espectro celular disponível é dividido em canais de largura de banda igual a 1,23 MHz. [1.7]

O enlace direto é composto pelos seguintes canais: Piloto, Sincronismo, Paging, Tráfego. A figura 2.11 mostra os tipos de canais do enlace direto, com seus respectivos códigos distribuídos com uma portadora 1,23 MHz de largura de banda. [1.3]

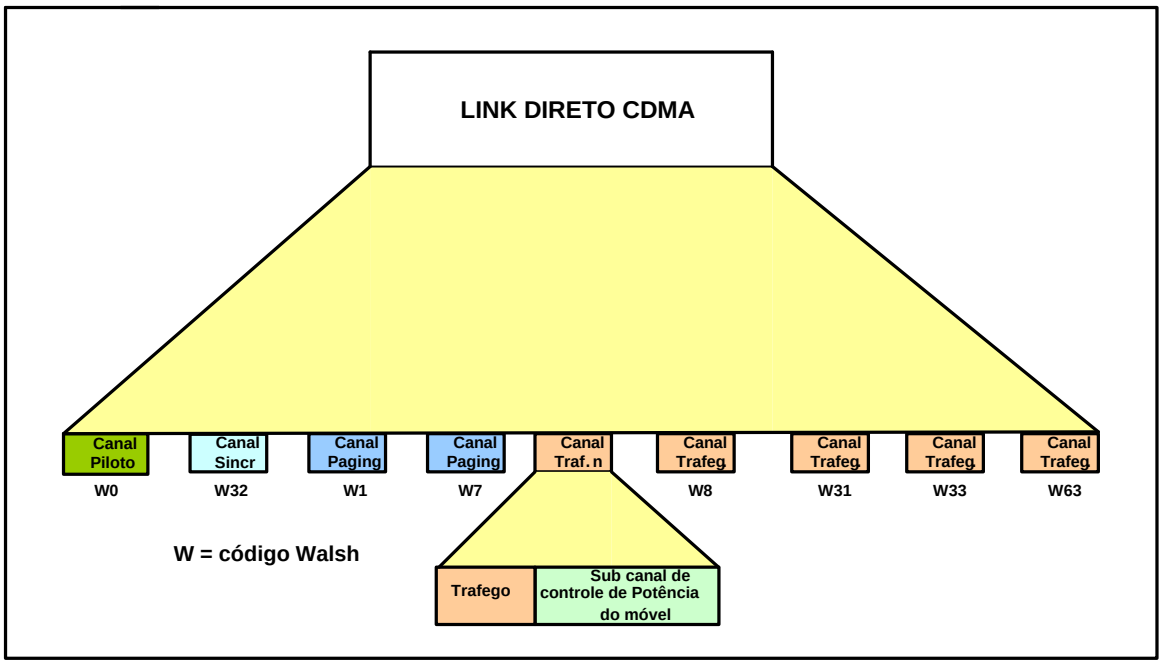


Figura 2.11 – Tipos de canais do enlace direto

Alocamos os 64 códigos de Walsh disponíveis: 55 canais de “tráfego”, 1 canal de “sincronismo”, 1 canal de “piloto”, 7 canais de “paging” para a primeira portadora de RF. Caso a BTS possua mais de uma portadora, não teremos canais de “paging’ e “sincronismo’, resultando 63 canais de “tráfego”. Na tabela 2.6 mostramos a distribuição dos canais do enlace direto a partir da segunda portadora de RF. [1.3]

Tipo de Canal	Quantidade	Código de Walsh
Tráfego	56 ou 63	W8 – W63 ou W1 – W63
Paging	7 ou nenhum	W1 – W7
Sincronismo	1 ou nenhum	W32
Piloto	1	W0

Tabela 2.6 – Distribuição dos canais de RF com segunda portadora de RF.

Canal Piloto: canal que não carrega informação e transmite constantemente pela BTS. É o primeiro canal a ser sintonizado pelo EM, permitindo que este canal tenha acesso ao sistema. O código relacionado possibilita que as seqüências geradas na BTS e no EM fiquem alinhadas. O código de Walsh relacionado ao canal piloto é o código zero e a mensagem transmitida é formada apenas por bits zero. Logo, toda informação extraída do piloto está relacionada com as seqüências PN. O canal piloto provê o terminal móvel com temporização e referência de fase. O EM mede a RSR do canal piloto e também dá uma indicação de qual é o mais forte setor de serviço para o EM. Além disso, o canal piloto permite ao móvel obter uma referência de intensidade de sinal, para a comparação e possíveis realizações de troca de canal, e é o canal de maior intensidade de sinal, aproximadamente de 20% da potência da portadora irradiada pela BTS. [1.14]

Canal de sincronismo: usamos no acesso do sistema, logo após a sintonia do canal piloto. O canal de sincronismo carrega informações de banda base. A informação é contida nas mensagens do canal de sincronismo, que notifica o EM de informações importantes a respeito do sistema de sincronização e parâmetros. A EM usa o canal de sincronismo apenas quando está ingressando no sistema, no início de sua ligação com a BTS. Este canal está configurado com o código de Walsh 32. [1.14]

Canal Paging: Depois de recebermos as mensagens do canal de sincronismo o móvel estará sincronizado ao sistema. A partir deste ponto passa a monitorar o canal de paging. A taxa de transmissão e de 4.800 ou 9.600 bps. Podemos ter até sete canais de paging (w1 á w7) dentro de uma portadora CDMA, sendo que o canal padrão é o Walsh 1. Embora possam existir sete canais paging por setor, cada EM somente monitora um canal paging. Sua função é manter o EM informado dos dados do sistema, localizando-o em caso de uma chamada ser recebida, enviando informações para troca de canal e controle de potência. [1.14]

Canal de Tráfego: Utilizado na transmissão de informação, tanto voz como dados e sinalização podem estar presentes. A taxa de transmissão dos quadros é variável, depende do VOCODER (codificador e decodificador de voz) utilizado. Se o codificador de voz escolhido possui taxa máxima líquida de 8.550 bps, as taxas de transmissão líquida (voz no formato QCELP) e bruta (voz no formato QCELP, bits indicadores de qualidade do quadro e mais os tail bits) variam conforme um conjunto de taxas denominado de Mutiplex Option 1. Se a escolha for de codificação de voz a taxa máxima líquida de 13.300 bps, as taxas de transmissão líquida e bruta variarão conforme um conjunto de taxas

denominadas de Multiplex Option 2. Na tabela 2.7 exemplificamos as opções de VOCODER de taxa variável. [2.4]

	Mutiplex Option – 1		**Mutiplex Option - 2**	
Taxa	Taxa Líquida	Taxa Bruta	Taxa Líquida	Taxa Bruta
plena	8.550 bps	9.600 bps	13.300 bps	14.400 bps
1/2	4.000 bps	4.800 bps	6.700 bps	7.200 bps
1/4	2.000 bps	2.400 bps	2.700 bps	3.600 bps
1/8	800 bps	1.200 bps	1.000 bps	1.800 bps

Tabela 2.7 – Vocoder de taxas variáveis.

As variações entre as taxas podem correr frame a frame. O receptor detecta a taxa e processa o frame corretamente. Esta técnica permite uma variação dinâmica da taxa do canal de acordo com a atividade da voz do usuário. Enquanto o usuário não está falando, ocorre uma redução na taxa de transmissão mas, quando começa a falar, o sistema instantaneamente aumenta a taxa de transmissão.Como conseqüência tem-se um decréscimo na interferência gerada em outros sinais CDMA e com isso, aumentamos da capacidade do sistema. [2.1]

A figura 2.12 apresenta o diagrama de bloco dos canais do enlace direto bem com a interligação dos mesmos para serem transmitidos e modulados. [1.14]

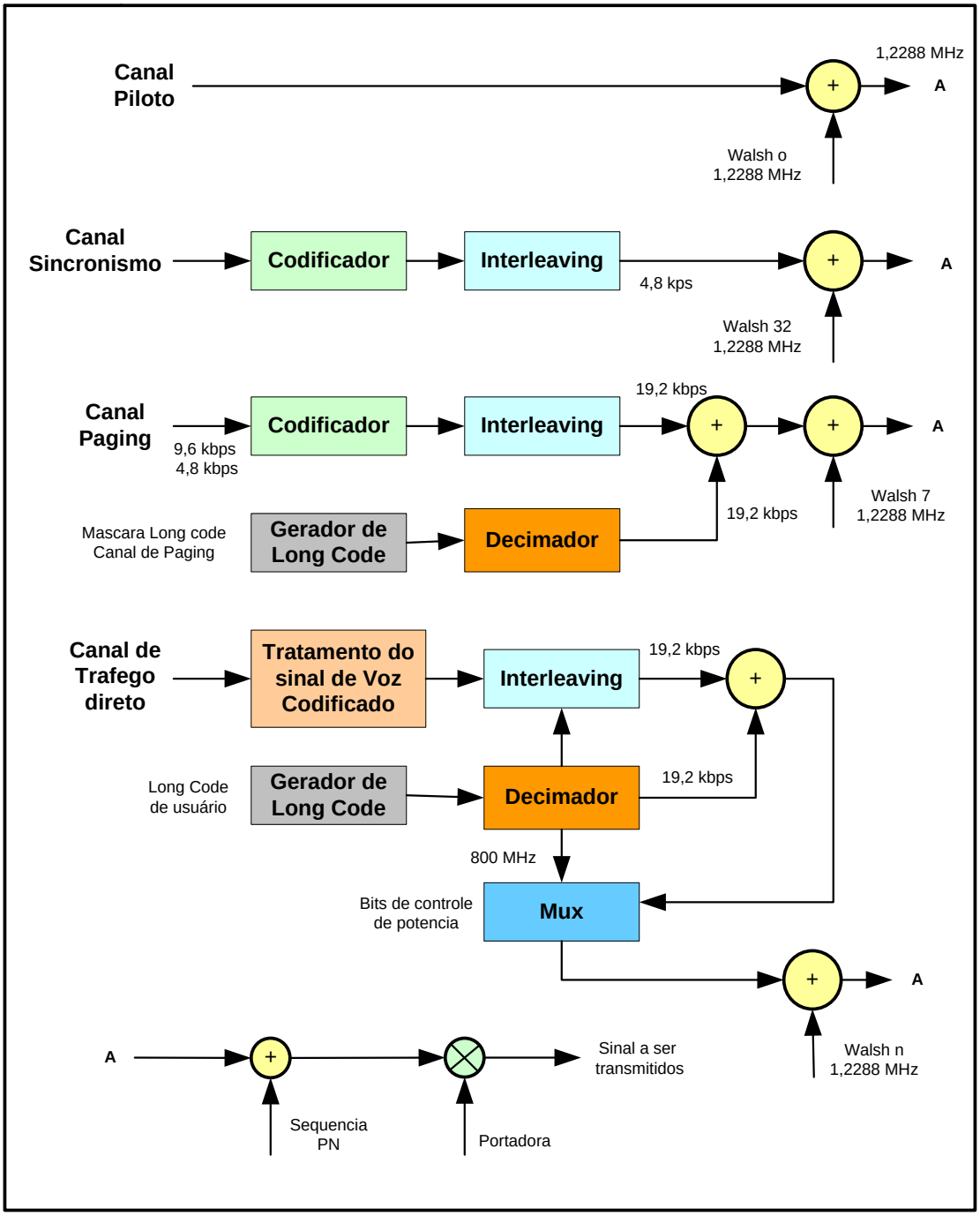


Figura 2.12 – Diagrama de bloco dos canais do enlace direto

No próximo item faremos uma explicação dos canais do enlace reverso, bem como seus respectivos tipos, funções e o diagrama de bloco, interligando todos os canais no processo da demolulação do sinal.

2.3.3 – Canais do Enlace Reverso (EM – BTS)

Através do enlace reverso estabelecemos a comunicação no sentido do EM para a BTS. No canal reverso utilizamos as seqüências PN de 32.768 bits. Aqui, entretanto, adotamos sempre o mesmo offset para todos os EM. Os sinais de diferentes terminais são distinguidos pelo uso de um código chamado de "long code" cujo comprimento é 2^{42-1} bits e diferenciamos os usuários por diferentes offsets da mesma seqüência. Devido à enorme quantidade time offsets possíveis, consegue-se um altíssimo grau de privacidade no sistema. A informação a ser transmitida no enlace é codificada e tratada pelo terminal móvel com o objetivo de evitar a ocorrência de erros. Após este tratamento, agrupamos os bits em conjuntos de 6 bits (code words). Em cada code word endereçamos uma linha da tabela de Walsh (64 linhas X 64 colunas) e dessa forma para cada 6 bits de entrada, tem-se 64 bits de saída. Chamamos este tipo de tratamento de modulação ortogonal e o utilizamos com o objetivo de melhorar a qualidade do enlace em relação à recuperação de informação original caso a mensagem recebida venha acrescida de erros. A figura 2.13 mostra a utilização do código de Walsh no link reverso. [2.3]

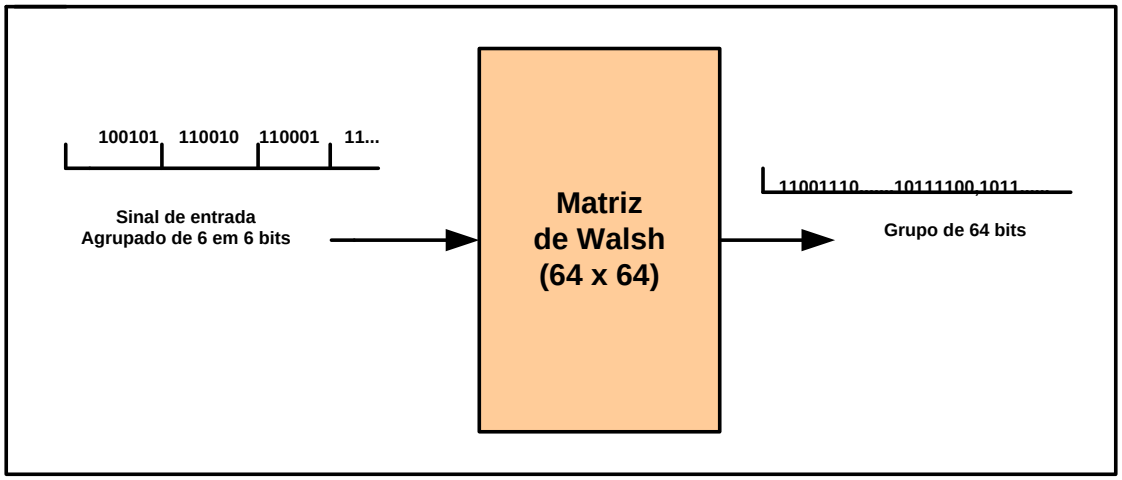


Figura 2.13 – Código de Walsh no enlace reverso.

Dessa forma, fica fácil observarmos que as funções de Walsh são utilizadas de maneira diferente nos enlaces direto e reverso. Enquanto no enlace direto as usamos para distinguir os diversos canais envolvidos, no enlace reverso aplicamos como método o corretor de erros. No enlace reverso temos apenas os canais de acesso e tráfego e os diferenciamos apenas pelo conteúdo das informações que transportam. A figura 2.14 mostra a composição dos canais do enlace reverso com seus respectivos tipos e Long Codes [1.3]

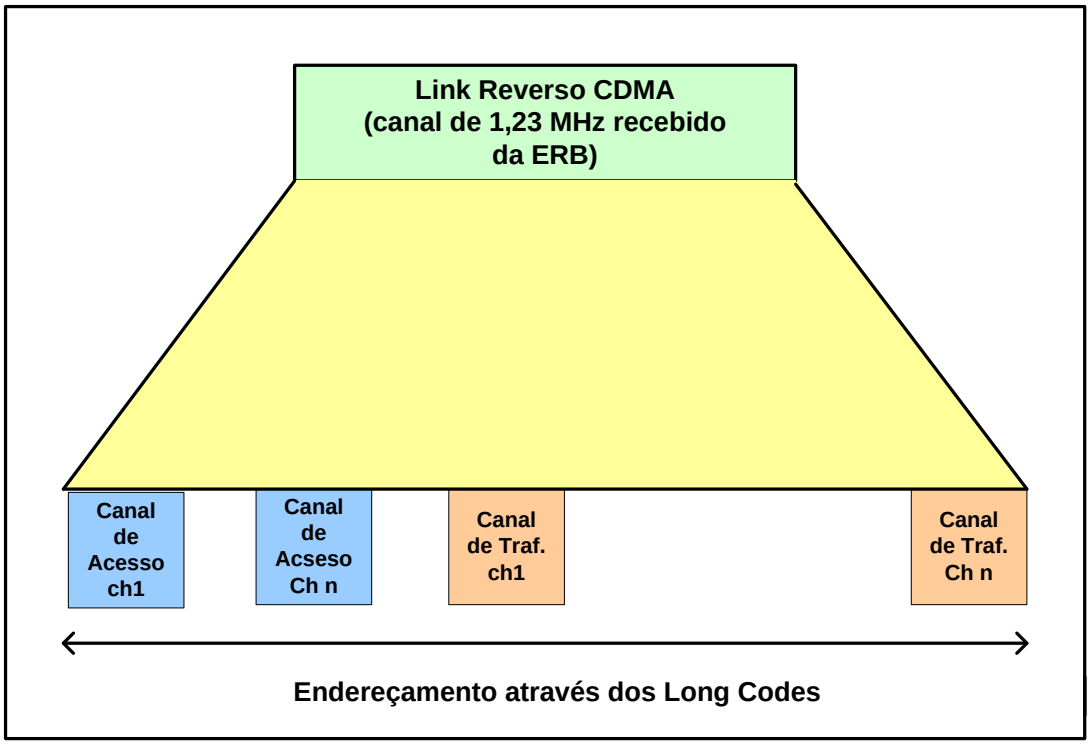


Figura 2.14 – Configuração do enlace reverso.

Canal de Acesso: Permite-nos a comunicação entre o EM e a BTS, quando o terminal não está utilizando o canal de tráfego. Em todas as transmissões no canal utilizamos uma taxa de transmissão fixa de 4.800 bps. Através desse canal efetuamos as originações de chamada, resposta a buscas, ordenações e registros. Podemos ter um ou mais canais de acesso para cada canal de paging. Fazemos a diferenciação entre os canais de acesso de um código também chamado de long code. Caracterizamos o long code como uma seqüência de 2^{42-1} bits e que operam em duas aplicações distintas. Em uma,

distinguimos os canais de acesso e, em outra, identificamos os EM quando estes estão no canal de tráfego. [1.6]

A BTS responde às mensagens recebidas no canal de acesso do móvel através do canal de paging associado. De forma similar, o móvel responde às mensagens do canal de paging através da transmissão no canal de acesso relacionado. [1.6]

A aquisição do canal é um processo randômico. Diversos EM podem estar associados a um canal paging e podem simultaneamente tentar utilizar um determinado canal de acesso. O EM escolhe aleatoriamente o canal dentro de um conjunto de canais disponíveis. Quando dois ou mais EM escolhem o mesmo canal de acesso, através da BTS teremos condições de recebê-los, mas esta transmissão simultânea tem como conseqüência uma degradação da qualidade do canal. A BTS controla a transmissão para prevenir um excesso de transmissões simultâneas por diversos EM. Este controle é feito através de parâmetros contidos em Access Parameters Message enviado no canal de paging. [2.4]

Canal de Tráfego Reverso: O formato e a estrutura de quadro do canal de tráfego reverso são idênticos ao existente no canal de trafego direto. A diferença entre os dois tipos é que, no enlace direto, o canal é identificado pela função de Walsh associada e, no reverso, pelo long code de usuário. Assim como a seqüência PN do piloto no canal direto, existe apenas uma seqüência de long code de usuário. Assim como a PN do piloto do canal direto, existe apenas uma seqüência de long code de identificação de usuário. A distinção entre eles pode ser obtida por diferentes offsets de fase desta seqüência. Possuimos duas opções de long code de usuário, uma que chamamos de long code público e outra denominada long code privado. O Público é gerado por um algoritmo que

utiliza, como dado de entrada, o número de série do terminal móvel (ESN). O privado é obtido por um processo de criptografia bastante específico e que é descrito em um documento de acesso restrito chamado Apêndice A da IS-95A . [1.2]

A figura 2.15 apresenta o diagrama de bloco dos canais do enlace reverso, com suas respectivas etapas de interligação para serem transmitidos e modulados. [1.7]

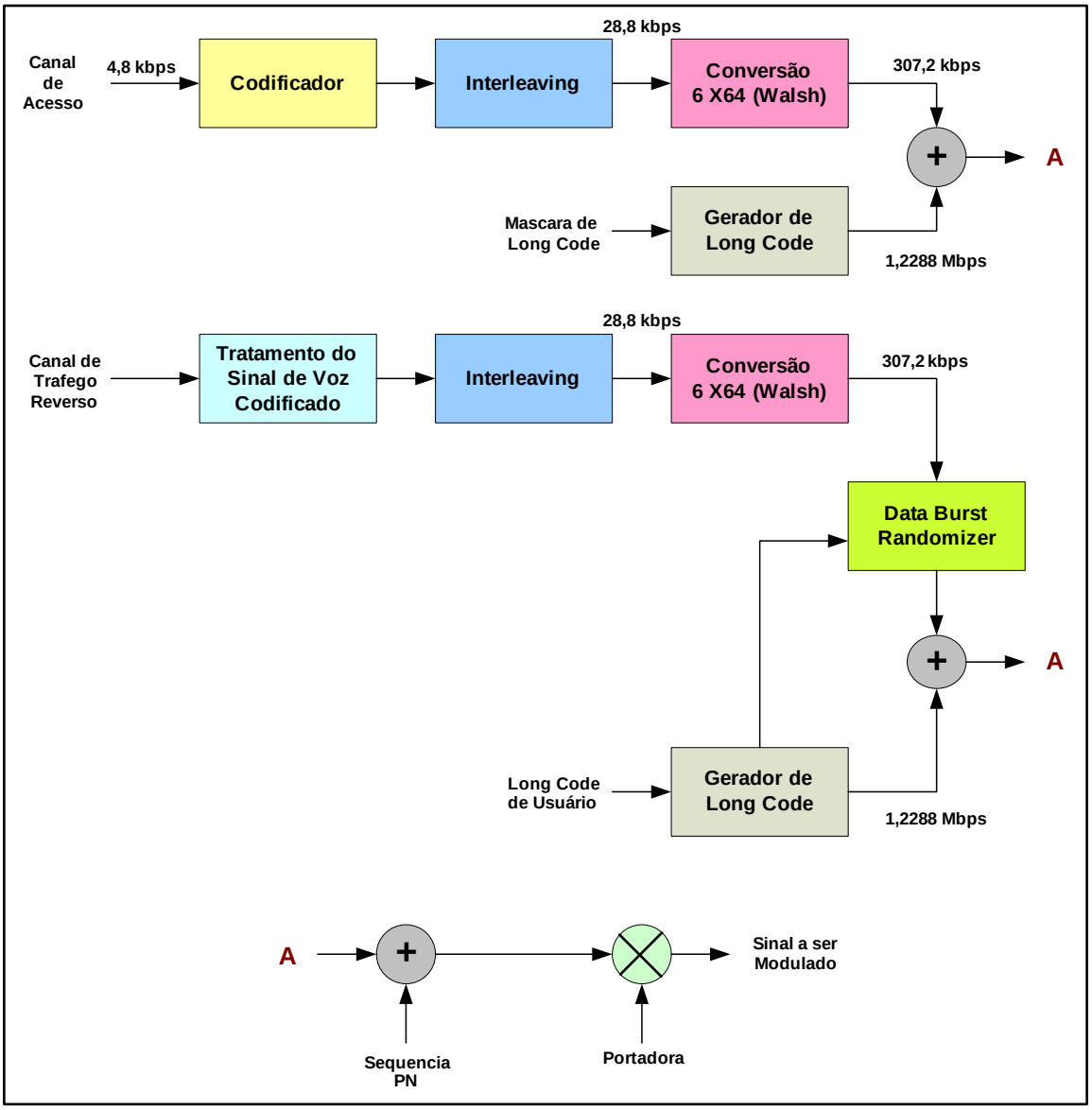


Figura 2.15 – Diagrama de bloco dos canais do enlace reverso.

No próximo a seguir faremos uma explanação do controle de potência do enlace direto e reverso, mostrando por sua importancia na capacidade do sistema em se ajustar o nível de transmissão e recepção dos sinais de RF.

2.4 – Controle de Potência

2.4.1- Introdução

Em um sistema celular desejamos obter a capacidade maximizada em termos de chamadas simultâneas dentro da mesma banda. No sistema CDMA esta maximização é alcançada quando a potência de cada móvel for controlada de maneira a minimizar a interferência que cada um causa nos demais. O valor exato de potência é um ponto crítico, pois se o nível for muito baixo, consegue-se a mínima interferência mas, por outro lado, a taxa de erro de bits será excessivamente elevada, degradando a qualidade do canal. Se o nível for excessivamente elevado, degrada a qualidade do canal. Nesse caso, pode-se eliminar o problema de deteriorização do canal, mas ocorre um aumento da interferência em outros canais, reduzindo a capacidade do sistema. Importa observar a deteriorização do ponto ótimo de funcionamento. A figura 2.16 mostra o ponto de nível ótimo de potência a ser transmitido. [2.4]

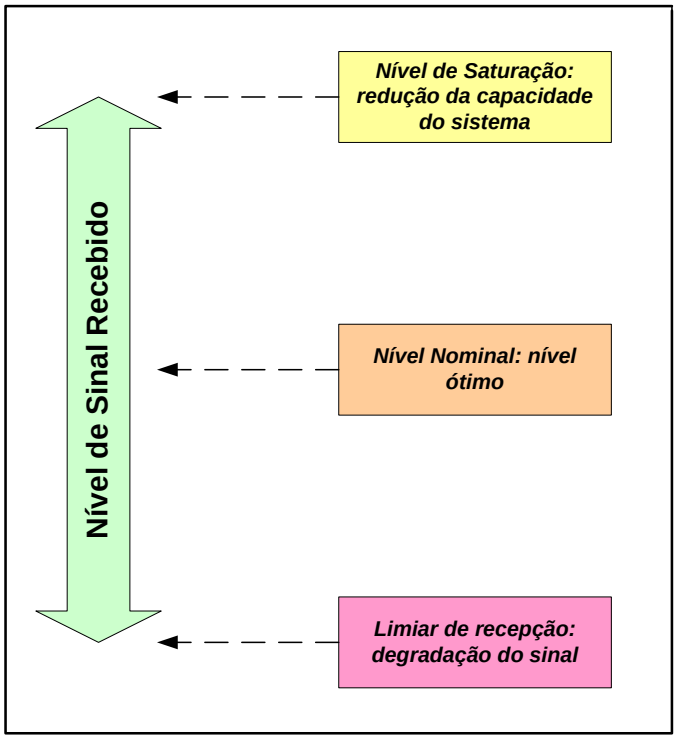


Figura 2.16 – Controle de potência

Atingimos o limite máximo da capacidade do sistema quando os móveis deixam de ter potência suficiente para se sobreporem à interferência dos outros usuários que compartilham a mesma portadora. Devido a isso, o CDMA IS-95-A é dotado de um sistema de controle de potência preciso.

Salientando que a qualidade do sinal é medida por meio da relação entre a energia de bit e a densidade espectral dos sinais interferentes (outros usuários + ruído térmico), chamada de Eb/No. A relação entre Eb/No e FER (taxa de erro de frame) é função de uma série de variáveis, inclusive da velocidade do móvel. Admitimos que o sinal de voz apresente uma qualidade aceitável quando a taxa de erro de frame for da ordem de 1%. Para terminais parados ou movendo com velocidade baixa, consegue-se um FER de 1% com Eb/No da ordem de 3 a 4 dB. Em velocidades maiores será necessário uma relação Eb/No de 6 a 7 db,

para o mesmo FER. Esta diferença ocorre porque em velocidades altas o controle não consegue compensar os fadings sofridos pelo sinal. [2.4]

Podemos concluir que a potência ótima será aquela necessária para atingir o FER desejado (1%). O provedor de serviços pode alterar este valor, tornando-o menor para melhorar a qualidade do sistema em detrimento da capacidade, assim como também podemos aumentá-lo em horários de pico admitindo uma pior qualidade para conseguir maior capacidade do sistema. A faixa permitida típica de FER é de 0,2 á 3% e um valor máximo de 3 frames errados seguidos. Lembramos que o FER pode exceder o valor desejado em determinado instante, pois o controle de potência é estatístico. Logo, a análise do FER deve ser feita por valores médios. [1.14]

O processo de controle tem basicamente três objetivos:

- Controlar a potência do móvel no seu acesso inicial.
- Controlar a potência do móvel quando estiver no canal de tráfego reverso.
- Controlar a potência de transmissão da BTS.

Existem formas diferentes de efetuar o controle, que serão usadas dependendo do sentido de transmissão (enlaces direto e reverso). Estas formas são, Open loop e closed loop

2.4.2 – Controle de Potência do Estado Inicial

Em processo de controle open loop, o acesso inicial ao sistema pode ocorrer somente após a conclusão de todo o processo de sintonia de canal piloto, canal de sincronismo e canal de paging. Até este momento a BTS ainda não recebeu nenhum sinal proveniente do EM e, portanto, não tem como tomar

nenhuma decisão no sentido de alterar a potência do terminal. Dessa forma, o móvel, ao utilizar o canal de acesso, inicia a transmissão com uma potência chamada IP (initial power) que é função do controle de potência open loop. Após a transmissão, aguarda-se a resposta da BTS. Caso isso não ocorra, a potência do móvel é aumentada e o processo se repete até que a estação responda. A figura 2.17 mostra as tentativas de ajuste de potência gradativamente a partir da potência inicial até a sua décima sexta tentativa. [2.2]

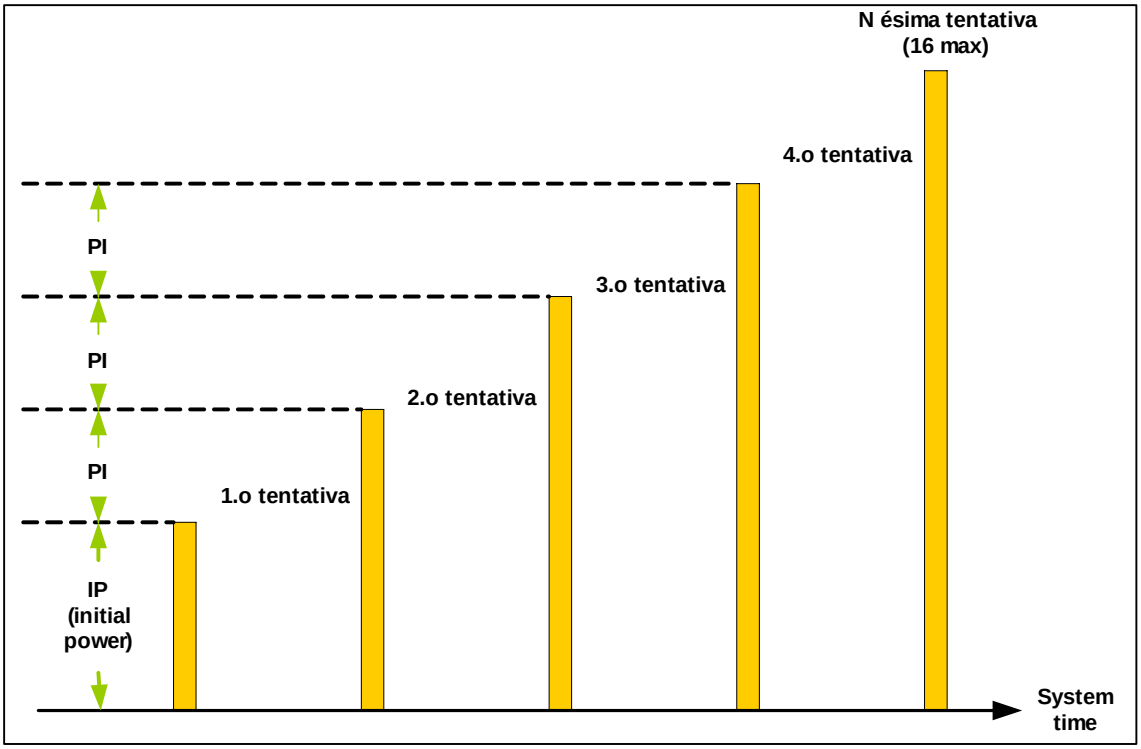


Figura 2.17 – Processo de ajuste da potência inicial.

2.4.3 – Controle de Potência do Enlace Reverso

2.4.3.1 - Controle "Open Loop"

Este tipo de controle é realizado exclusivamente pelo EM, cuja potência de transmissão é ajustada de acordo com a intensidade do sinal recebido. A recepção de sinais de níveis elevados indica que o móvel está perto

da BTS e como conseqüência, podermos transmitir uma menor potência para produzir o nível necessário no receptor da BTS. [1.14]

Em uma faixa dinâmica de 85 dB obtém-se o controle loop, o qual opera continuamente em steps de 0,75 dB ou menos. A figura 2.18 mostra o controle de potência reverso.

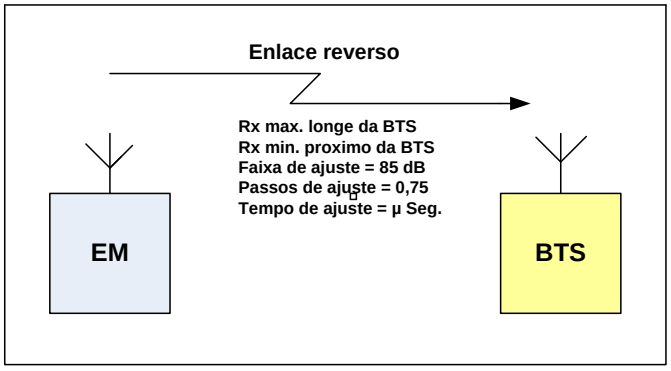


Figura 2.18 – Controle open loop

Caso ocorra uma degradação súbita do nível recebido pelo móvel, o sistema de controle de potência open loop responde rapidamente em um tempo de poucos micro segundos. Devemos frisar que a velocidade de atuação é rápida o suficiente para compensar perdas de atenuação no percurso e sombreamento mas não tão rápida a ponto de conseguir compensar fadings rápidos (tipo Rayleigh) que ocorrem no enlace direto. O sistema compensa as perdas de forma média. A figura 2.19 ilustra as atenuações do nível do sinal através das atenuações médias e fadings ocorridas na propagação dos sinais de rádio. [2.4]

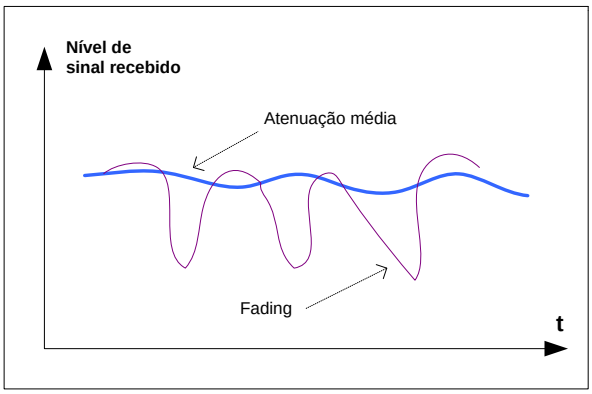


Figura 2.19 – Atenuação média do sinal.

2.4.3.2 - Controle Closed Loop

No sistema celular temos uma separação de 45 MHz entre os canais de transmissão e recepção, o que permite uma comunicação full duplex. As existências desta separação têm importante implicação no processo de controle de potência, pois torna independentes os desvanecimentos ocorridos nos enlace direto e reverso. Como conseqüência imediata, a BTS não consegue determinar com precisão a perda que o sinal está sofrendo a partir da medição da perda no link reverso, já que o desvanecimento ocorrido nos dois sentidos é diferente. O controle “open loop”, como visto anteriormente, permite-nos um razoável controle de potência para um procedimento mais acurado caso tenhamos o objetivo de corrigir desvanecimentos rápidos tipo Rayleigh. A figura 2.20 mostra os caminhos distintos de sinais de rádio, percorridos por meio do enlace direto e reverso. [2.3]

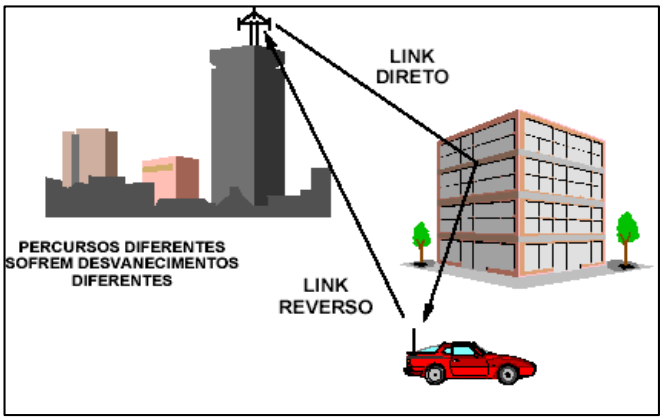


Figura 2.20 – Enlace direto e reverso

Para tornar o sistema preciso o suficiente a ponto de corrigir os desvanecimentos rápidos, o CDMA possui o controle closed loop, cuja potência do móvel é controlada também por um comando enviando a BTS. O nível determinado por este processo combinará com o nível estimado pelo open loop e o resultado da combinação determinará o nível total transmitido. Definimos duas fases distintas para o controle "closed loop", chamamos "inner loop" e a outra "outer loop". [1.14]

A função outer loop, exclusiva da BTS, é utilizada para ajustar o valor Eb/No, alvo frame a frame, ou seja, a cada 20 ms. A BTS reduz o alvo gradativamente até que ocorra um erro no sinal recebido. Ocorrendo o erro, o valor é aumentado e o processo se repete. Em outras palavras, o outer loop permite a BTS determinar o Eb/No alvo para cada usuário individual e dinamicamente, baseado na taxa de erro ocorrida na comunicação com cada terminal. A execução deste procedimento garante o funcionamento com a menor potência possível, o que permite a maximização da quantidade usuários no

sistema. A figura 2.21 mostra o controle de potência na modalidade “Close Loop” mensionado no texto. [1.14]

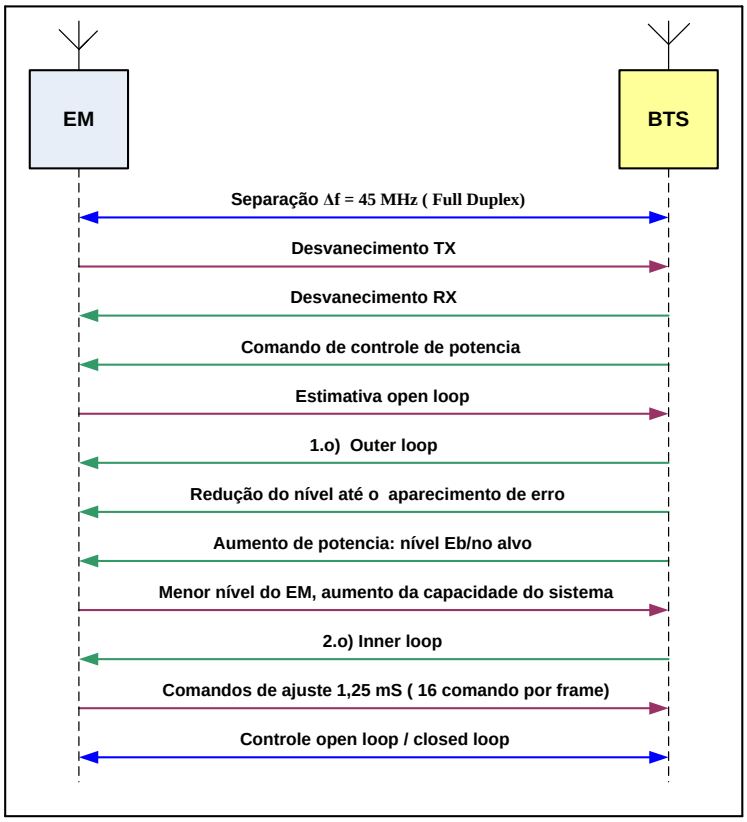


Figura 2.21 – Controle de potência Close Loop

Uma vez que determinamos o Eb/No alvo, passamos a executar a função inner loop, que envolve tanto a BTS quanto o terminal móvel. Cada demodulador da BTS mede a relação EB/No de cada terminal e compara com o valor alvo destinado aquele usuário (determinado no outer loop). O resultado da comparação é enviado ao móvel um comando de ajuste de potência. A figura 2.22 exemplifica o ajuste de potência do tipo “inner loop” e o “outer loop”. [1.14]

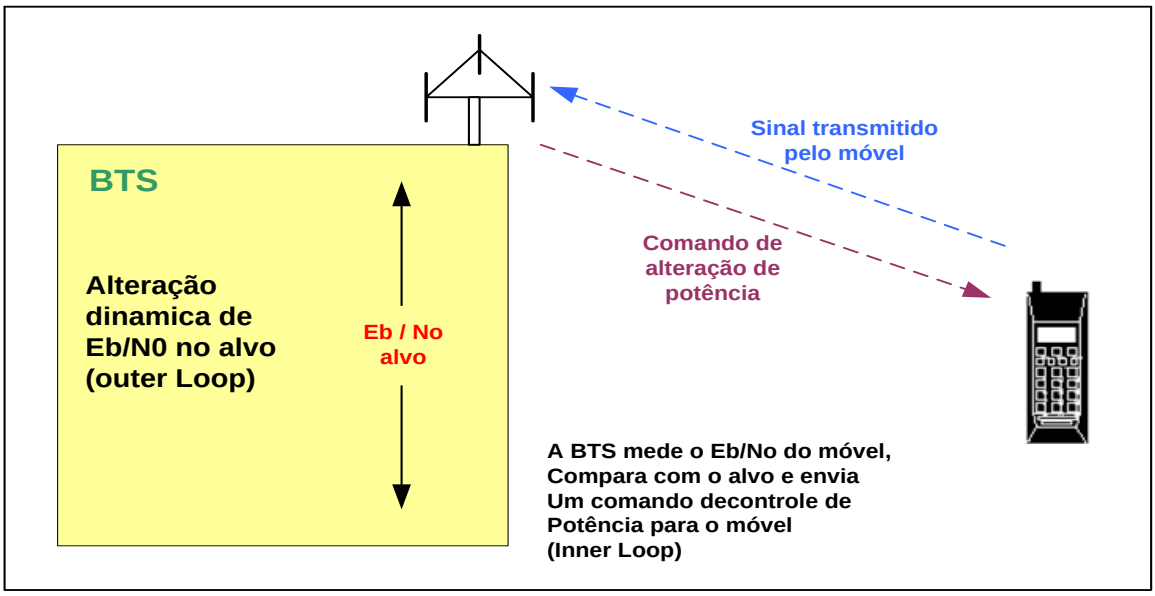


Figura 2.22 – Inner loop e outer loop.

Os comandos de ajuste são enviados para o subcanal de controle de potência, dentro do canal de tráfego, a cada 1,25 ms (800 vezes por segundo) ou seja, 16 comando por frame. O aumento ou redução do nível pode ser feito em step de 1 dB (típico). Esta velocidade é suficiente para corrigir os desvanecimentos Rayleigh. [2.3]

Utilizando conjuntamente os controles open loop e closed loop, pode-se compensar fadings de 20 a 30 dB dentro de um intervalo de 20 ms mantendo constante o nível recebido pela BTS. A figura 2.23 ilustra o controle de potência do enlace reverso. [2.4]

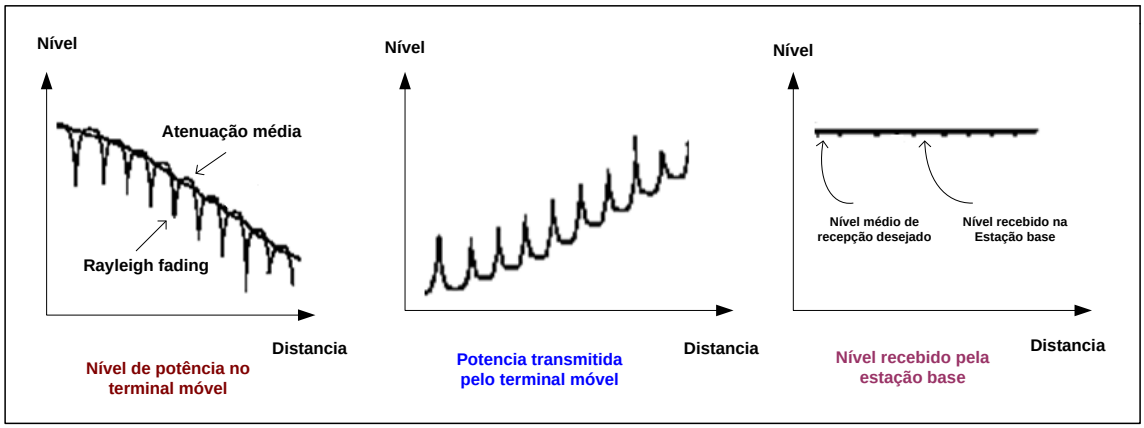


Figura 2.23 – Controle de potência do link reverso

2.4.4 – Controle de Potência do Enlace Direto.

Quando estamos conectados, o móvel mede o FER (taxa de erro de frame) e o reporta à BTS. Com base nesta informação, a potência do canal de tráfego será ajustada pela estação.

A dinâmica do controle de potência no enlace direto consiste na BTS reduzir periodicamente a potência transmitida ao terminal móvel. Este, por sua vez, mede a taxa de erro de frame (FER) e o informa à BTS. O processo pode ocorrer de duas maneiras. Na primeira, chamada periódica, envia-se o FER freqüentemente, independentemente do valor estar aceitável ou não. Na segunda, por limiar, o FER somente será reportado quando atingir um determinado valor pré definido. As duas formas podem ser usadas em conjunto ou podem ser desabilitadas. [2.3]

Ao perceber que o FER está elevado, a estação ajusta sua potência de transmissão compensando a perda. Este ajuste é normalmente realizado em steps pequenos (mais ou menos 0,5) dB. A taxa de variação é mais lenta que a utilizada no enlace reverso e ocorre uma vez a cada frame (20 ms). A faixa dinâmica está limitada em mais ou menos 6 dB. [2.3]

A vantagem deste processo é que a BTS transmitirá somente a potência necessária ao funcionamento do móvel, reduzindo a interferência causada em outros usuários na mesma frequência. Além disso, permite uma otimização da distribuição da potência nos canais de tráfego, destinando uma quantidade menor de sinal aos terminais com melhores condições de propagação e uma quantidade maior para os terminais em condições menos favoráveis. A figura 2.24 descreve os sinais envolvidos no processo de controle de potência do link direto.

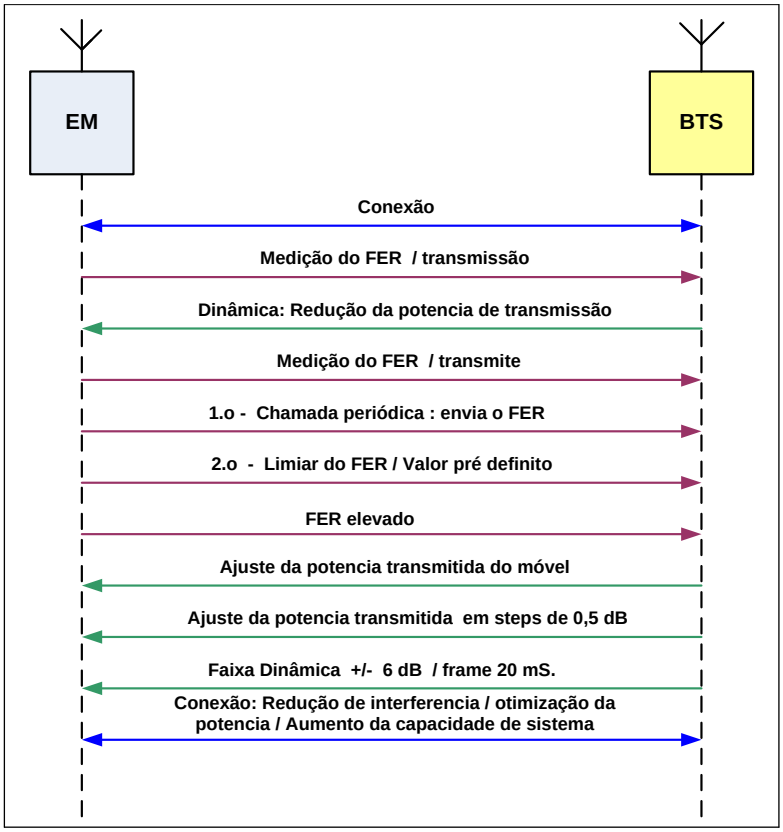


Figura 2.24 – Controle de potência do enlace direto

No próximo item esplicaremos os tipos de modulação e demodulação empregados no sistema CDMA tais como BPSK , QPSK e OQPSK.

2.5 – Modulação e Demodulação BPSK utilizados no sistema CDMA

2.5.1 – Modulador BPSK

Primeiramente, examinaremos um esquema de modulação digital básico chamado BPSK e o desempenho em um ambiente de ruído Gaussiano. A concepção é simples. O usuário que enviar um **+1**, transmitirá um sinal cossenoidal positivo; aquele que enviar um **-1** transmitirá um cossenoidal negativo. A expressão para BPSK é quando **E** é a energia por símbolo, e **T** é o tempo de duração de cada símbolo. Com estas expressões, pode-se observar que a informação é armazenada na fase do sinal modulado **s+1 (t)** e **s-1 (t).** Se a informação transmitida é **1**, o sinal modulado **s+1(t)** tem uma fase de **0.** Se a informação transmitida é **-1,** então o sinal modulado é **s-1 (t)** tem uma fase de ¶, ou 180 graus. [1.7]

O modulador BPSK é de fácil implementação. A entrada do modulador, que é um multiplexador, consiste de símbolos de dado. Os dados podem ser qualquer um dos dois **a + 1** ou **a - 1**. Os dados são multiplexados por uma portadora cos(2.¶.f.t) escalado por o coeficiente $\sqrt{2E/T}$. A saída do multiplexador é o correspondente sinal modulado. [1.7]

As equações (2.1) e (2.2) apresentam as duas equações do modulador.

$$-1: S-1\,(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}}\,.cos.(2.\pi.f.t+\pi) = -\sqrt{\frac{2E}{T}}\,.cos.(2.\pi.f.t) \quad 0 < t < t \quad (2.2)$$

$$-1: S-1\,(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}}\,.cos.(2.\pi.f.t+\pi) = -\sqrt{\frac{2E}{T}}\,.cos.(2.\pi.f.t) \quad 0 < t < t \quad (2.2)$$

Na figura 2.25 apresentamos os sinais do modulador BPSK.

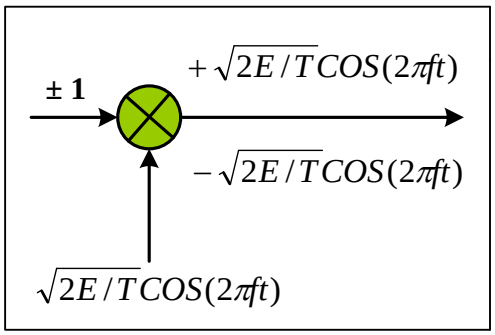


Figura 2. 25 – Modulador BPSK

2.5.2- Demodulador BPSK

Uma implementação do BPSK é a aproximação do filtro combinado. O recebido sinal **r(t)** tem dois componentes: O sinal transmitido é originalmente **si(t)** onde **i** poderia ser qualquer um dos dois, **+1** ou **-1**, e ruído **n(t)**, o qual é introduzido pelo canal. O sinal recebido r(t) é multiplicado pelo sinal de s+1(t). O multiplicado resultado é então integrado acima de um bit de intervalo T. A figura 2.26 apresenta o diagrama de bloco do demodulardor [1.7]

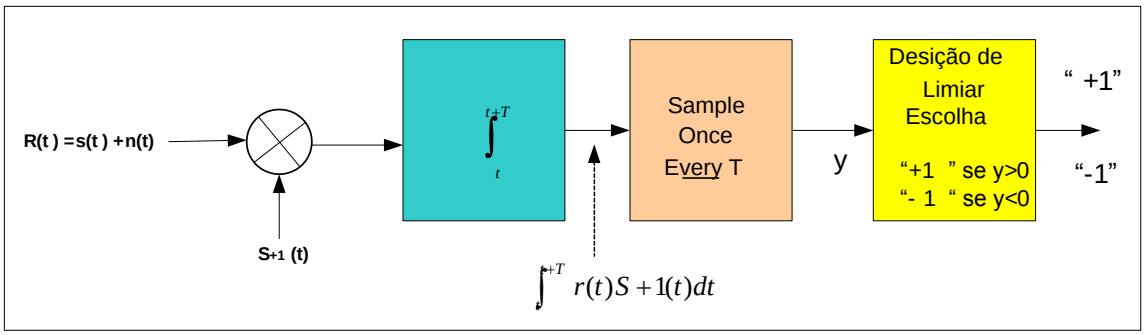


Figura 2.26 – Demodulador BPSK

Se o transmissor envia **a+1**{ si(t) = s+1(t)}, então o integrado resultado é

$$y = \frac{2E}{T}\int_0^T \cos^2(2¶ft)\,dt + \sqrt{2E/T}\int_0^T \cos(2¶ft)n(t)\,dt \qquad (2.3)$$

onde o primeiro termo é o período do sinal que é utilizado para o limiar de decisão e o segundo termo é a contribuição do ruído. Na ausência do ruído, o primeiro termo é reduzido para [1.7]

$$\frac{2E}{T}\int_0^T \cos^2(2¶ft)\,dt = \frac{2E}{T}\left(\frac{1}{2}\right) = +\frac{E}{T} \qquad \text{(para +1)} \qquad (2.4)$$

Se o transmissor envia **a-1** {si(t) = s-1(t)}, então o resultado integrado é

$$y = -\frac{2E}{T}\int_0^T \cos^2(2¶ft)dt - \sqrt{2E/T}\int_0^T \cos(2¶ft)n(t)dt \qquad (2.5)$$

Na ausência do ruído, é percebido que o primeiro termo reduz para

$$-\frac{2E}{T}\int_0^T \cos^2(2¶ft)dt = -\frac{2E}{T}\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{E}{T} \qquad \text{(para -1)} \qquad (2.6)$$

2.6 – Modulador e Demodulador QPSK

2.6.1- Introdução

O BPSK é capaz de transmitir um bit de informação (**+1** ou **-1**) por período de símbolo T. Nesta sessão, examinamos outro esquema de modulação que pode transmitir dois bits de informação por período de símbolo. QPSK faz o uso do componente quadratura em adição a componente da fase. A componente em fase e quadratura pode ser combinada sem interferir um com outro porque os dois são ortogonais entre si, isto é, [1.7]

$$\int_0^{k/f} \cos(2¶\,ft)\sin(2¶\,ft)dt = 0 \qquad k=0,1,2,3.....$$

Portanto um segundo sinal BPSK em quadradura pode ser adicionado para o primeiro sem introdução de interferência para o outro. Esta técnica, conhecida como QPSK, dobra a largura de banda eficiente do BPSK porque está apta para transmitir um bit adicional durante T. [1.7]

2.6.2 – Modulador QPSK

Com o objetivo de enviar dois bits de informação, o sistema QPSK necessitara usar quatro símbolos 0,1,2 e 3. A tabela 2.8 mostra o mapeamento entre símbolos transmitidos e bits. [1.7]

Símbolo transmitido	Bits representados
0	+ 1 , + 1
1	- 1 , + 1
2	- 1 , - 1
3	+ 1 , - 1

Tabela 2.8 – Mapeamento de símbolos e bits.

Com objetivo de transmitir quatro diferentes símbolos, o transmissor QPSK necessita ser capaz de enviar quatro formas de onda diferentes: $s_0(t)$, $s_1(t)$, $s_2(t)$ e $s_3(t)$. Cada sinal corresponde a um dos quatro símbolos, que é: [1.7]

Símbolo 0: $s_0(t) = \sqrt{2E/T}\cos(2\pi ft + \pi/4) \quad 0 < t < T$ (2.7)

Símbolo 1: $s_1(t) = \sqrt{2E/T}\cos(2\pi ft + 3\pi/4)$

$= \sqrt{2E/T}\,\mathrm{sen}(2\pi ft + \pi/4) \quad 0 < t < T$ (2.8)

Símbolo 2 : $s_2(t) = \sqrt{2E/T}\cos(2\pi ft + 5\pi/4)$

$= -\sqrt{2E/T}\cos(2\pi ft + \pi/4) \quad 0<t<T$ (2.9)

Símbolo 3 : $s_3(t) = \sqrt{2E/T}\cos(2\pi ft + 7\pi/4)$

$= -\sqrt{2E/T}\,\mathrm{sen}(2\pi ft + \pi/4) \quad 0<t<T$ (2.10)

Onde **E** é a energia por símbolo. O transmissor muda a fase da forma de onda do cosseno, dependendo do símbolo que está para ser transmitido. A fase pode mudar para um dos quatros estados: 45, 135, 225 e 315 graus. A figura 2.27 representa a constelação do sinal espacial do tipo QPSK. [1.7]

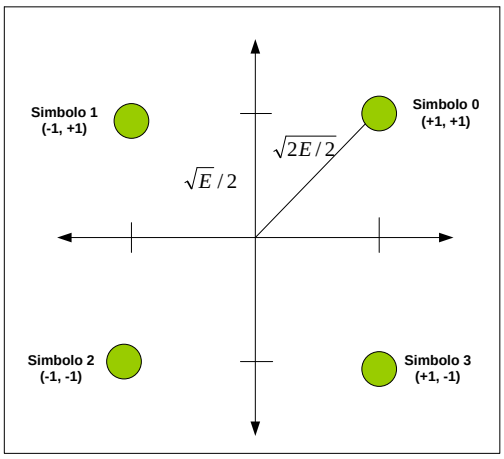


Figura 2.27 - Constelação QPSK.

A entrada para o modulador são os dados de bits $\{a_n\}$; n = 0, 1, 2, 3,. Os bits de dados podem ser qualquer um dos dois +1 ou -1. Os bits de dados são alimentados dentro do demutiplexador (DEMUX), onde o fluxo de bits é separado. O fluxo de bits restante ainda é multiplicado por uma portadora em fase, e o fluxo de bits anterior é multiplicado pela portadora de quadratura. A saída dos multiplicadores é combinada no adicionador para formar o sinal QPSK. A figura 2.28 apresenta o diagrama de bloco do modulador do tipo QPSK [1.7]

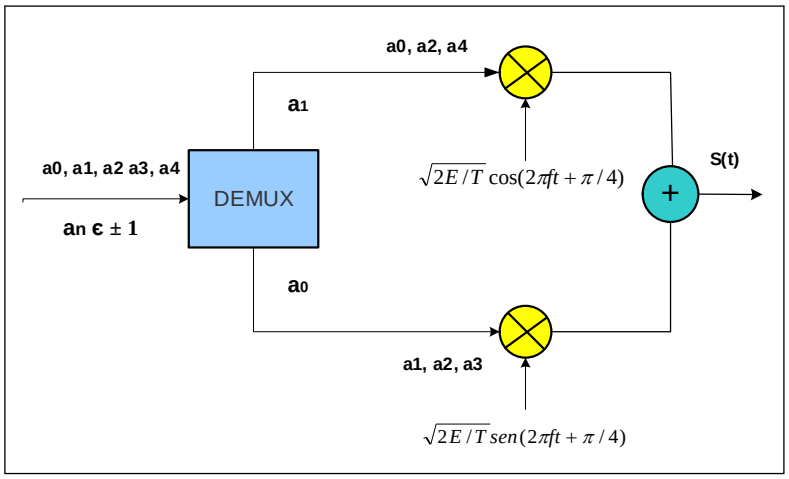


Figura 2.28 – Modulador QPSK.

2.6.3 – Demodulador QPSK

O receptor QPSK pode usar o mesmo filtro combinador e aproxima-se de um provável detector máximo, exceto no caso de outro ramo for adicionado para um componente em quadratura. O sinal recebido **r (t)** é alimentado dentro de dois caminhos separados, um caminho em fase e o outro caminho em quadradura, onde os sinais são multiplicados por seus respectivos sinais de referência. Os resultados multiplicados são integrados e alimentados dentro do limiar de decisão. A regra de decisão é a mesma que o sistema BPSK, decide **+ 1** se **y** é maior que **zero** e decide **- 1** se **y** é menor que **zero**. A decisão dos resultados é multiplexada pelo multiplexador (MUX) para formar o recuperado fluxo bit de dado **ãn.** [1.7]

Note que nesta correlação de implementação, assume-se que a probabilidade de enviar **a + 1** é igual à probabilidade de enviar **a – 1.** Além do mais, assume-se que o demodulador é coerente, o que significa que as fases do sinal de referência são combinadas perfeitamente com as fases das portadoras da modulação. A figura 2.29 ilustra a implementação do demodulador. [1.7]

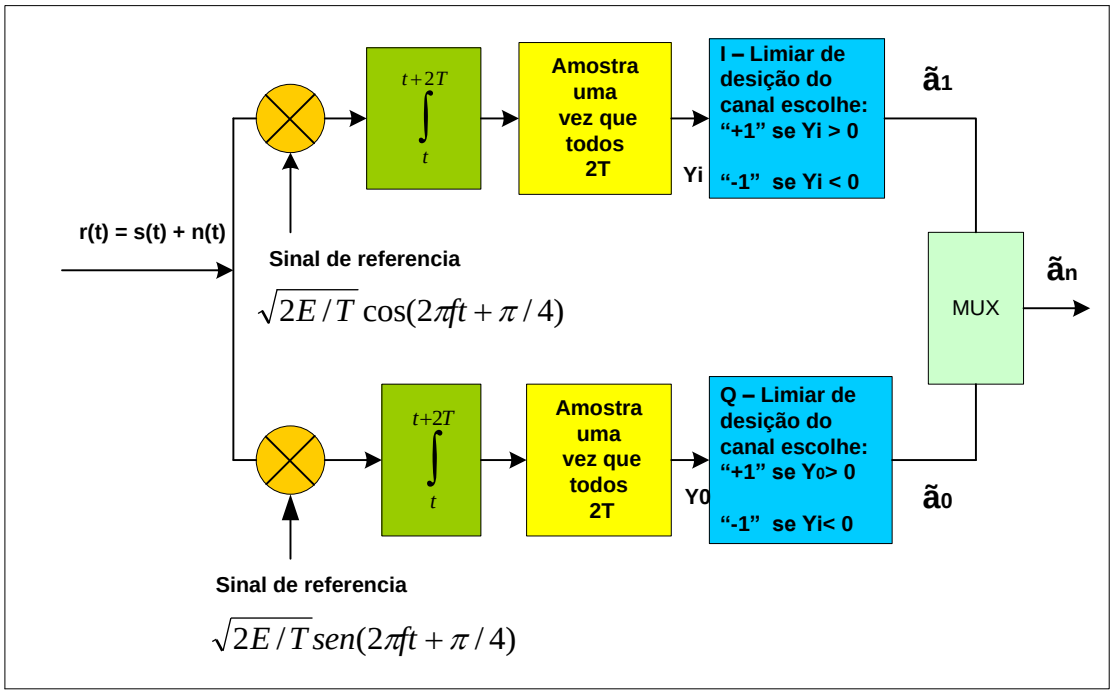


Figura 2.29 – Demodulador QPSK

2.6.4 - Aplicações no Sistema IS-95 CDMA

O sistema IS-95 CDMA usa QPSK tanto para links direto quanto reverso. O link reverso, em particular, usa uma variável do QPSK chamada offset quadrature phase shift keying (OQPSK). OQPSK difere do convencional QPSK por ser anterior ao multiplicador de portadora: um atraso de meio bit de intervalo (com respeito para o caminho I) é colocado no caminho Q. Isto é feito para evitar uma transição de fase de 180 graus que ocorre no sistema convencional QPSK. Por exemplo, na transição do símbolo **0** para o símbolo **3,** o sinal vai através da transição de uma fase de 180 graus através da origem. No domínio do tempo, o sinal envelope cai e momentaneamente alcança zero. Este cruzamento de zero demanda muito da faixa dinâmica do amplificador de potência. Assim, usa-se OPSK no enlace reverso onde o amplificador de potência do móvel limita ambos em tamanho e desempenho. O atraso extra de meio bit no caminho **Q** assegura que não haverá transição exata entre símbolos **0** e **2** e entre símbolos **1** e **3**, e

portanto não cruza zero. A figura 2.30 exemplifica o modulador do tipo OQPSK. [1.7]

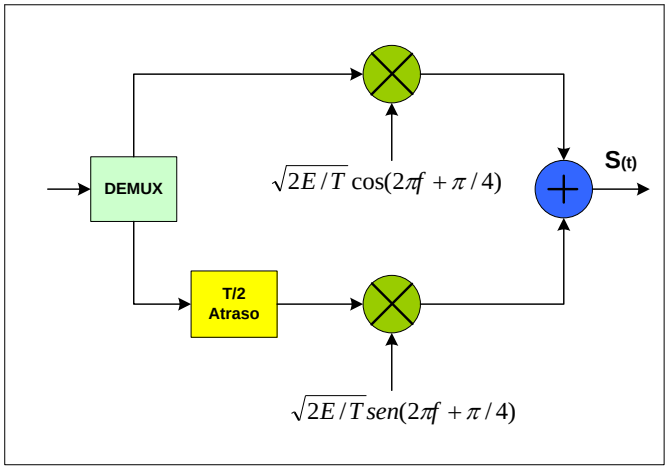


Figura 2.30 - Modulador OQPSK.

No capitulo 3 apresentaremos a infraestrutura dos equipamentos envolvidos na tecnologia CDMA e a sua funcionalidade dentro sistema o qual é indispensável no entendimeto de operação do sistema.

2.7 – Composição da Infraestrutura do Sistema CDMA

A infraestrutura empregada no sistema CDMA é projetada para ser flexível em termos de capacidade e funções, sendo viável em centrais públicas móveis de diferentes portes e diferentes aplicações da PSTN, além de permitir a absorção das atuais tecnologias. Além disso, este sistema baseia-se no princípio de crescimento em blocos (modular), que facilita a expansão do sistema. A figura 2.31 mostra a interligação dos equipamentos envolvidos no sistema, bem como a sua interligação dos blocos sobre a qual faremos um comentário sucinto. [2.4]

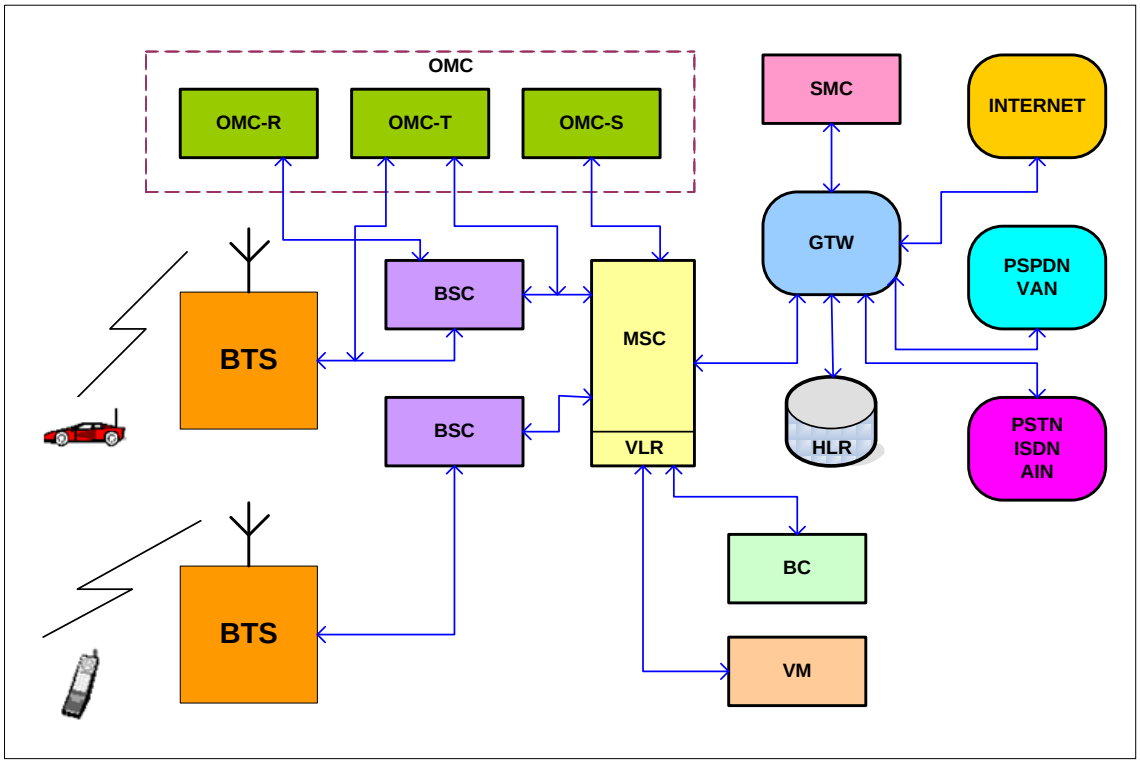


Figura 2.31 –Infraestrutura do sistema CDMA

- **MSC**, equipamento com função de comutação. Apresentamos com carateristica de um computador de grande porte para aplicações em telefonia. Suas principais funções: Processamento de chamada, gerenciamento do sistema móvel celular, tarifação e bilhetagem, coleta de dados de tráfego, autorização do controle e troca de canais de RF. [2.3]
- **BSC**, equipamento de rádio chamado de controladora. Funciona com interface entre a BTS e a MSC e permite fazer o gerenciamento das BTS, o controle de tráfego telefônico e o controle da potência das BTS e EM. [1.14]
- **BTS**, equipamento de rádio que funciona como interface entre o terminal móvel e a BSC. É com ele que se faz a área de cobertura de uma célula, possibilitando assim a comunicação sem fio entre o terminal móvel e a BTS. [2.3]

- **HLR**, equipamento que apresenta a função de banco de dados, armazena o cadastro dos usuários pertencentes aquela área de registro e contem o registro dos serviços contratado pelo usuário. [2.4]
- **VLR**, equipamento com função de banco de dados que contém informações temporárias sobre os assinantes visitantes. Essas informações são armazenadas na MSC e podem servir os assinantes visitantes. Interligamos o VLR com uma conexão através MSC. Quando EM visita uma nova área o VLR conectado à nova MSC requisita do HLR o perfil do EM. [1.14]
- **OMC**, plataforma centralizada que fornece uma fácil operação do sistema, gerenciamento da rede e rapidez na detecção e correção de falhas. Tem como função de gerenciamento de falhas, gerenciamento de desempenho e configuração. Pode-se verificar o sistema rádio através do terminal OMC-R; sistema de transmissão através do OMC-T e o sistema de comutação através do OMC-S [2.4]
- **SMC**, equipamento responsável pela transmissão de mensagens curtas ao display do móvel. [2.4]
- **BC**, equipamento com função de centro de tarifação e bilhetagem.
- **VM**, equipamento responsável pela caixa postal.
- **GTW**, interface que interliga rede de dados (internet), ISDN, AIN, PSTN e PSPDN.

No item a seguir abordaremos o sistema irradiante composto de antenas do tipo painel utilizadaa no sistema de telefonia móvel celular. Este item teremos como objetivo exclarecer e exemplificar os parâmetros das antenas que utilizaremos na operação do simulador.

2.8 – Composição do Sistema Irradiante.

2.8.1 – Introdução

O sistema irradiante empregado em telefonia móvel celular é constituído de antenas do tipo painel e visa a fazer a distribuição dos canais de rádio tais como: tráfego (voz, dados e sinalização) e controle (parâmetros de sistema). Além disso, é responsável pela área de cobertura da célula com base no estudo de tráfego telefônico. Uma célula padrão apresenta três setores, sendo que na transmissão colocamos uma antena em cada setor. Na recepção do sistema irradiante, trabalha-se com a diversidade de espaço sendo assim instalamos duas antenas em cada setor. A figua 2.32 exemplifica uma célula padrão dividida em três partes iguais chamada de setor.

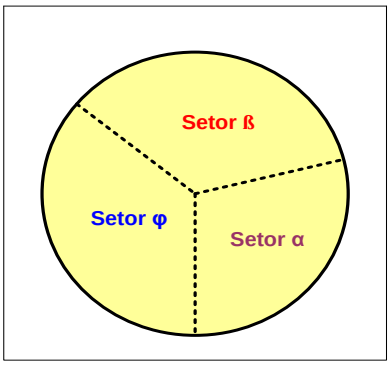


Figura 2.32 - Célula padrão

Instalamos as antenas nas seguintes posições da torre: as antenas de recepção ficam em cima e as antenas de transmissão ficam logo abaixo. A figura 2.33 mostra o posicionamento das antenas da torre. [5.5]

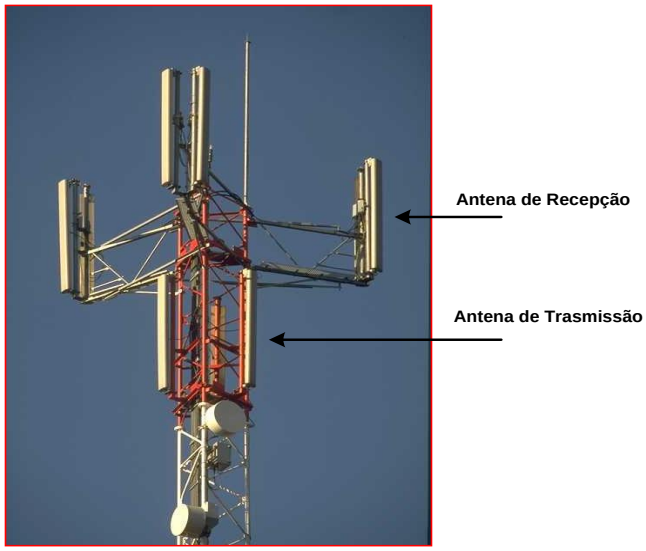


Figura 2.33 - Antenas RX e TX

A figura 2.34 mostra a foto de uma antena do tipo painel.

Figura 2.34 – Antena painel.

No item a seguir exemplificaremos uma antena do tipo painel com suas respectivas especificações. A sua importância se deve ao fato de o simulador apresentar uma conexão com a internet. Quando for solicidado pelo operador, o simulador listará as antenas com seus respectivos fornecedores e especificações.

2.8.2 – Antenas Painel

Esta antena opera na faixa de frequência de 800 MHz, (824 – 849 MHz na recepção e 869 – 894 MHz na transmissão) e atende a faixa de frequência no estudo. Usamos a antena da RFS WORLD, com o código **APXV866513-7.** [5.5]

A - Antena.

P - Polarização.

X - Polarização cruzada ± 45 graus.

V - Polarização vertical.

86 - Faixa central de frequência de 860 MHz.

65 - Abertura horizontal de 65 graus.

13 - Ganho da antena de 13 dBi.

7- (inclinação) da antena.

A tabela 2.9 lista as especificações elétricas e mecânicas da antena. Estas por sua vez são relevantes para o estudo, pois ultilizaremos no simulador os seguintes parâmetros: faixa de frequência, ganho, inclinação, abertura vertical e horizontal, para compor os cálculos e área de cobertura da célula. [5.5]

Especificações Técnicas APXV866513-7	
Faixa de Frequência, MHz	824 – 849; 869 - 894
Tipo de Antena	Painel com polarização dupla
Ganho da Antena, dBi(dBd)	14,2 (12,1)
Tipo de Conector	7-16 DIN fêmea
Inclinação (Tilt Elétrico), graus	0 – 10
Abertura Horizontal, graus	65
Taxa de velocidade de vento, km/h	160
VSWR	< 1,4:1
Abertura Vertical, graus	15
Supressão do 1.o Lóbulo Secundário, dB	> 16
Polarização	Polarização dupla ± 45
Relação de Frente Costa, dB	> 25
Potência Máxima de Entrada, W	500
Isolação entre as Portas, dB	> 30
Dimensões – H x W x D, mm	1350 x 330 x 130
Peso, kg	12
Material do Elemento de Radiação	Latão
Material do Radome	Fibra de vidro
Material Refletor	Alumínio
Área de carregamento máximo de vento, m^2	0,45
Velocidade de vento de sobrevivencia, km/h	200

Tab. 2.9 - Especificações elétrica e mecânica APXV866513-7

Apresentamos o diagrama de irradiação da antena **APXV866513-7** com a polarização vertical e lóbulo principal, secundários e traseiros e o ângulo de abertura vertical de 15 graus. O lóbulo principal tem grande importância no estudo em pauta devido à maior quantidade de energia estar concentrada nele. A figura 2.35 exemplifica a composição dos lóbulos. [5.5]

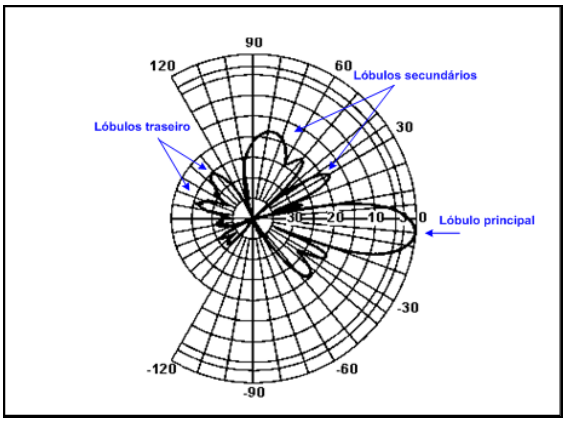


Figura 2.35 – Diagrama de irradiação vertical

O diagrama de irradiação da antena APXV866513-7 com a polarização horizontal e abertura de 65 graus. A figura 2.36 mostra o diagrama de irradiação horizontal. [5.5]

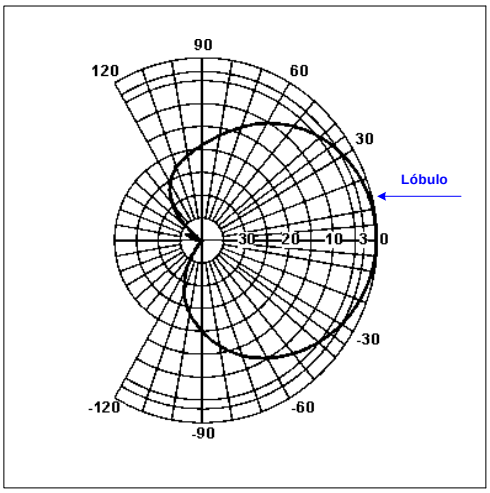


Figura 2.36 – Irradiação horizontal.

2.9 – Considerações finais do capítulo

Neste capitulo, abordamos com um enfoque técnico e detalhado do sistema CDMA, em que tratamos dos conceitos de espalhamento e desespalhamento espectral, bem como a sua importancia no processo de transmissão e recepção de informações. Apresentamos também os canais do enlace direto e reverso caracterizando os diversos tipos em função das necessidades das informações a serem transmitidas. Detalhamos o controle de potência tanto do enlace direto quanto indireto e sua importância para otimizar a capacidade do sistema. Citamos as taxas de transmissão empregadas nos canais de rádio que permitem aumentar ou diminuir a capacidade de sistema dependendo do tipo de vocoder utilizado. A abordagem das técnicas de modulação e demodulação empregada para transmissão de sinais de informação é indispensável para a taxa de transmissão de sinais transmitidos no sitema.

Destacamos a importancia do sistema irradiante na área de cobertura da célula. Estes conhecimentos mensionados acima são imprencidíveis para o entendimento do capitulo a seguir.

No capitulo 3 abordaremos o equacionamento e as operações do simulador para a geração e fornecimento de resultados baseando-nos nas diretrizes da ICNIRP.

CAPÍTULO 3

SIMULADOR - 1

3.1. Introdução

A comunicação sem fio tornou-se uma necessidade imprescindível na atualidade, principalmente no que concerne a telefonia móvel celular, que oferece diferentes serviços de transmissão: voz, dados imagem, efetuar pagamentos, realização de consultas bancárias, GPS, jogos. Podemos afirmar que estas facilidades têm fascinado os usuários e não podemos negar que a telefonia sem fio entrou para a história.

Com o crescimento acelerado e desordenado de estações rádio base mundialmente, espera-se das operadoras de telecomunicações rapidez na implantação de “Sites”, para dar vazão às novas demandas dos usuários que se acostumaram a estar conectados a todo o tempo e para quem, de certo modo, o número de celulares passou a ser um novo registro de identificação nacional.

Como já dissemos na introdução deste trabalho, o crescimento desenfreado de ERBs instaladas no território nacional motivou-nos a construir uma metodologia científica para analisar os níveis permissíveis de campo eletromagnético e densidade de potência gerados por ERBs, uma vez que os modelos de predição desses valores são inacessíveis aos pesquisadores na área de telecomunicações optamos na escolha do desenvolvimento de simuladores.

3.2 - Equacionamento do Sistema de Propagação de RF

Para os cálculos desenvolvidos no equacionamento do simulador utilizamos a Resolução 303 da ANATEL que, por sua vez, adotou o

equacionamento e valores permissíveis nas diretrizes da ICNIRP. Esta resolução tem por objetivos estabelecer limites permissíveis para exposição de campos elétrico, magnético e eletromagnético, compreedido na faixa de rádio frequências entre 9 kHz e 300 GHz associadas a operações de estações rádiobase de serviços de telecomunicações, bem como definir métodos de avaliação e procedimentos a serem observados quanto ao licenciamento de ERB. [5.7]

Para o cálculo de distância mínima da antena, procuramos atender os limites de exposição a campos de RF, conforme as diretrizes da ICNIRP. Os cálculos foram aproximados, adotando-se um modelo teórico para propagação no espaço livre e partindo-se das seguintes hipóteses simplificadas: consideramos que o ponto de interesse está suficientemente longe da antena de modo a não existir componente radial do campo elétrico; consideramos a inexistência, no entorno da BTS, de possíveis pontos de reflexão, ou mudança de polarização do sinal; o campo elétrico polarizado linearmente, sendo sua componente tangencial (E_0) uma função linear inversa da distância da fonte emissora. Assumimos uma antena transmissora isotrópica situada no espaço livre, a densidade de potência do campo em um ponto situado a uma distância “d” da antena na região de campo distante da antena.

3.2.1- Potência Efetiva Radiada (ERP_N) em dBm.

Definimos o comprimento de onda (λ) como sendo a distância na direção de propagação, entre dois pontos sucessivos de uma onda periódica cujas oscilações apresentam a mesma fase. [5.7]

$\lambda = \frac{c}{f}$.....Comprimento de onda (m) (3.1)

c.....Velocidade da luz (km/s)

f.....Frequência (MHz)

A ERP é obtida pela potência entregue a uma antena, multiplicada pelo seu ganho em relação a um dipolo de meio comprimento de onda, em uma determinada direção. Para o estudo do ERP operamos com “dBm” e “W”.

Neste item trabalhamos a ERP com “dBm” e temos como resultado da espressão a soma do número de canais de rádio a serem transmitidos através do setor da célula, os quais podemos caracerizar como canais de tráfego (voz, dados) ou controle (parâmetros de sistema). Adicionamos a potência dos canais de rádio provenientes da ERB e somamos com o ganho da antena. [2.5]

$$\mathbf{ERP_N = 10.\log.N + P_t + G} \quad \text{(dBm)} \qquad (3.2)$$

ERP_N.....Potência efetiva radiada dos canais de rádio (dBm)

N..... Número de canais de rádio de um setor.

P_t.....Potência transmitida através dos canais de rádio da ERB (dBm)

G..... .....Ganho da antena (dBd)

3.2.2 – Potência Radiada Efetiva (ERP_N) em (w)

$$\mathbf{ERP_N =} \; 10.^{ERPn/10}\mathbf{.}\; 10^{-3} \quad \text{(W)} \qquad (3.3)$$

ERP_N.....Potência efetiva radiada dos canais de RF (dBm)

3.2.3 - Densidade de Potência no Setor (S_s) em (dBm) .

$$\mathbf{S_s = ERP_N + 10.\log .2{,}56 - C - Aten.dir - 10 \log .4¶ - 20 \log d} \quad \text{(dBm)} \; (3.4)$$

ERP_N..... Potência efetiva radiada dos canais de rádio (dBm)

2,56 .....Valor do fator de reflexão, que leva em conta a possibilidade de que campos refletidos possam se adicionar em fase ao campo incidente direto (dB)

C.....Perdas no cabo de RF, consideramos as perdas existentes no comprimento do cabo entre a saida do rádio e entrada da antena [2.5]

$A_{ten.dir}$ .....Atenuação de afastamento do lóbulo principal da antena em relação ao azimute (dB)

20 log d ..... Atenuação da distância entre antena e o ponto a ser medido (m)

Obs. Devido ao afastamento do lóbulo principal, a atenuação é extraída do diagrama de irradiação da antena.

3.2.4 - Densidade de Potência no Setor (S_s) (W/ m^2)

Definimos a densidade de potência em rádiopropagação como a potência expressa por metro quadrado que atravessa uma unidade de área normal em direção da propagação. [1.22]

Definimos uma onda plana: onda eletromagnética em que os vetores de campo elétrico e magnético localizam-se num plano perpendicular a direção de propagação da onda e à intensidade de campo magnético (multiplicada pela impedância do espaço) é igual à intensidade de campo elétrico. [1.22]

Definimos campo distante: região do espaço onde os campos elétricos e magnéticos possuem carateristicas aproximadamente de onda plana e as componentes de campo elétrico e magnético são perpendiculares entre si e ambas são transversais à direção de propagação. O campo distante, para os casos onde o comprimento máximo total da antena transmissora é maior que o comprimento máximo total da antena transmissora, o campo distante é maior que o comprimento de onda do sinal emitido. [1.22]

$$d = \frac{2.L^2}{\lambda} \quad (m) \quad (3.5)$$

d.....Distância (m)

L.....Dimensão máxima total da antena transmissora (m)

λ.....Comprimento de onda (m)

A densidade de potência da onda plana equivalente (S_{eq}): densidade de potência de uma onda plana que possua um determinado valor de intensidade de campo elétrico ou campo magnético e se exprime em Watts por metro quadrado [5.7].

$$Seq = \frac{E^2}{377} = H^2.377 \quad (W/m^2) \qquad (3.6)$$

E.....Intensidade do campo elétrico, em (V/m)

H.....Intensidade de campo magnético, em (A/m)

377.....Valor da impedância do espaço livre em (Ω)

No estudo em pauta usamos ERPi (Potência equivalente isotropicamente radiada) a qual designamos como a potência entregue a uma antena atraves de um canal de rádio, multiplicada pelo ganho da antena em relação a uma antena isotropica, numa determinada região [5.7].

$$S = \frac{Pt}{4.\pi.d^2} \qquad (W/m^2) \qquad (3.7)$$

$4.\pi.d^2$ .....Área da esfera com raio "d"

$$S = \frac{Pt.Gt}{4.\pi.d^2}.2.56 \qquad (W/m^2) \qquad (3.8)$$

$ERP_i = P_t . G_t$ (W) (3.9)

ERP_i.....Potência efetiva radiada isotrópica. (W)

$$S = \frac{ERPI}{4.\pi.d^2}.2,56 \qquad W/m^2 \qquad (3.10)$$

S_s = $10.^{Ss/10}.10^{-3}$ (W/m^2) (3.11)

3.2.5 - Distância Mínima "r" da ERB (m)

A distância mínima: distância entre a ERB e o ponto a ser medido [5.7].

r = 8,16 . $\sqrt{ERPn(w):f}$ (m) (3.12)

ERP_N .....Potência efetiva radiada com "n" canais de rádio (W)

f.....Frequência da portadora de RF no sistema CDMA (MHz)

3.2.6 - Campo Elétrico no Setor (E_s) (V/m) [5.7]

$E_s = \sqrt{377.Ss.}$ (V/m) (3.13)

377.....Impedância intrínseca no vácuo (Ω)

Ss.....Densidade de potência no setor (W/m^2)

3.2.7 - Valores Permissíveis pela ICNIRP: 869 á 894 MHz. [5.7]

3.2.7.1 - Campo Elétrico E_{EMP} (exposição máxima permitida) (v/m)

$E_{EMP} = 1{,}37.\sqrt{f}$ (V/m) (3.14)

3.2.7.2 - Densidade de Potência S_{EMP} (exposição máxima permitida) (mW/cm^2)

$S_{EMP} = f / 2000$ (mW/cm^2) (3.15)

3.2.7.3 - Densidade de Potência S_{EMP} (exposição máxima permitida) (W/m^2)

$S_{EMP} = f / 200$ (W/m^2) (3.16)

3.2.7.4 - Campo Magnético H (A/m)

$H = 0{,}0037.\sqrt{f}$ (A/m) (3.17)

3.2.7.5 – Densidade de Fluxo Magnético B (μT)

Definimos a densidade de fluxo magnético: Amplitude da grandeza vetorial que representa a força exercida sobre um condutor retilinio normal na direção do vetor percorrido por uma corrente invariável. [5.7]

$B = \sqrt{0{,}0046.f}$ (μT) (3.18)

No item a seguir explicaremos as ferramentas utilizadas no simulador bem como a operação do mesmo.

3.3 – Operação do Simulador de Torre

3.3.1- Ferramentas Utilizadas no Simulador

Utilizamos dois aplicativos no desenvolvimento das simulações. No desenvolvimento do equacionamento utilizamos com ferramenta “Delphi” e as animações gráficas foram empregadas os recursos do “Flash”.

Como nunca foi uma exigência a necessidade do protótipo ser multiplataforma (ex. rodar tanto em Windows quanto em Linux), decidimos desenvolve-lo para uma plataforma mais comum, o Windows.

As principais soluções disponíveis para desenvolvermos aplicações para Windows são: Delphi, Visual Basic, Java, .NET. O Visual Basic já foi a ferramenta de desenvolvimento mais utilizada no mercado, porém foi descontinuada pela Microsoft. É ainda usada pela .NET. O Java e a .NET são linguagens que necessitam de uma máquina virtual para poderem ser executadas. Isso significa que um software desenvolvido em Java ou .NET não roda diretamente no Windows, sendo necessário instalar um framework antes, para que isso seja possível. Sendo assim, uma das ferramentas disponíveis no mercado que gera aplicações diretamente para Win32 é o Delphi.

Além disto, o Delphi é uma ferramenta RAD (Rapid Application Develoment), que possibilita um rápido desenvolvimento visual de aplicações. Isso é importante principalmente no desenvolvimento de protótipos, que devemos criar para testar idéia e obter um rápido ”feedback” para possíveis melhorias.

Além do mais, possuímos no Delphi um grande número de componentes, “free” e pagos, disponíveis para uso, que possibilitam expandir as funcionalidades da própria ferramenta. Um desses componentes, que já vem com o Delphi, permite executar animações “Flash” dentro do software. Por isso,

optamos por desenvolver a animação do software em Flash, e rodá-lo dentro do simulador utilizando o componente já disponível no Delphi.

O Flash é a principal ferramenta do mercado para desenvolvimento de animações vetoriais, além de jogos e aplicações Web.

Para o simulador desenvolvido, utilizamos o Delphi 2007, da Code Gear (uma “sub-empresa” da Borland), rodando apenas na plataforma Windows.

Não utilizamos nenhum banco de dados na obtenção de especificações de cabos e antenas. Todas as informações estão contidas em arquivos HTML carregadas pelo software.

Utilizamos nas animações gráficas a ferramenta Flash CS3 da Adobe. Por isso, para as animações serem executadas, necessitamos instalar o Flash Player, software free.

Utilizamos apenas dois componentes que não vêm instalados com o Delphi: um é o “Edit” (campo que pode receber entrada) com setas para baixo e para cima. Este componente faz parte do Projeto JEDI, um conjunto de componentes “free” que pode ser obtido no site. O outro componente é responsável por abrir animações Flash no Delphi. Ele não vem instalado por padrão, mas pode ser instalado pelo próprio Delphi.

http://www.delphi-jedi.org/

No proximo item, faremos um comentário sucinto dos recursos e facilidades que o simulador 1 pode proporcionar ao pesquisador.

3.3.2 – Funções realizadas através do simulador 1.

O simulador permite ao usuário realizar os cálculos: potência irradiada efetiva, densidade de potência no setor, distância mínima, campo elétrico no setor, valores permissíveis de densidade de potência e campo elétrico

recomendados pela ICNIRP, campo magnético, densidade de fluxo magnético. Permite realizar conversões de sinais lineares (Watt e Volt) em valores exponenciais (dB). Além do mais, permite fazer o levantamento de especificações de cabos antenas e sites, construir gráficos de densidade de potência em uma celula e área de cobertura em um setor. Buscar sites de estações rádio base e caracterizar os tipos de torres.

A figura 3.37 lista ao usuário os recursos que o simulador pode nos proporcionar através do seu diagrama de funcionalidade.

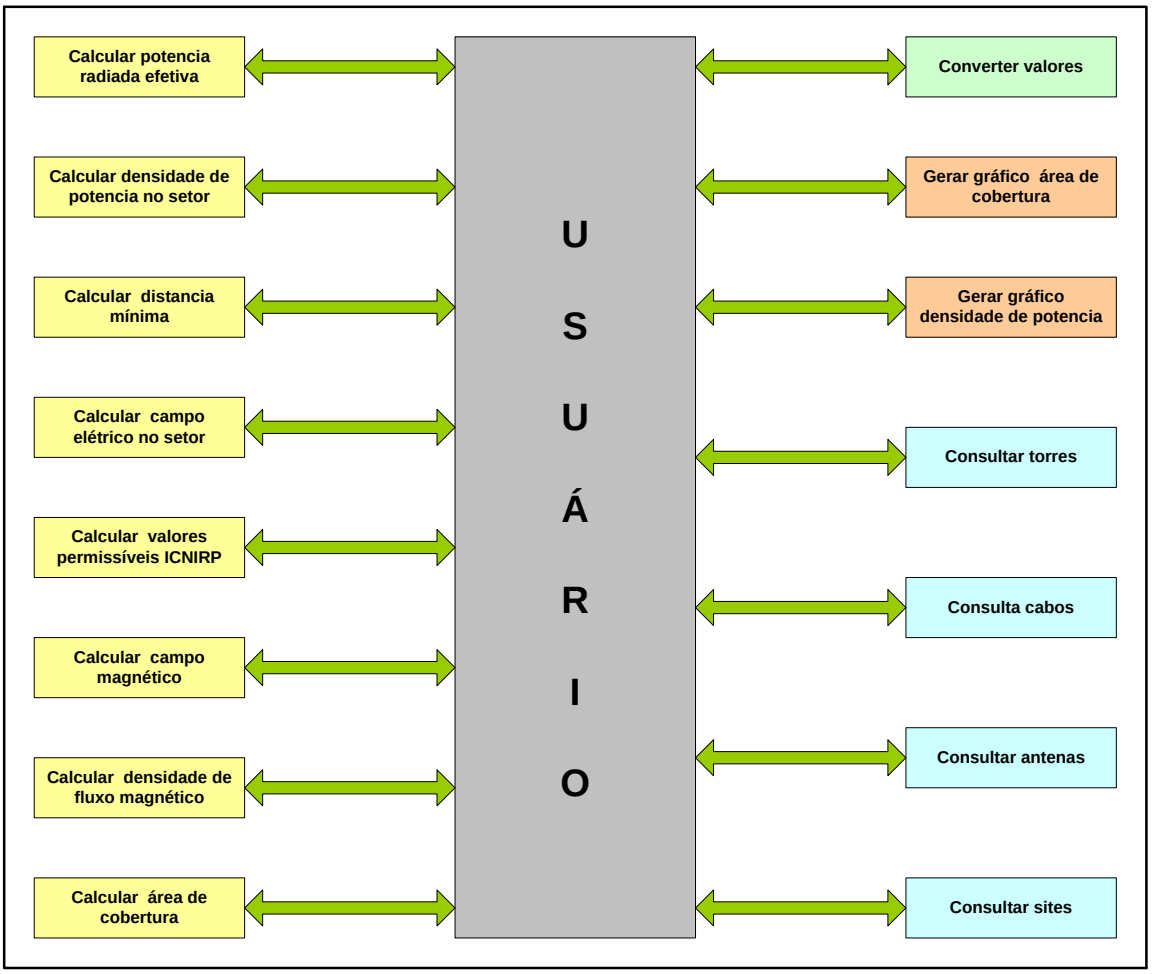


Figura 3.37 - Diagrama de funcionalidade

A figura 3.38 esclarece ao pesquisador a operação e os recursos disponíveis no simulador. Apresenta a sua operação detalhada através do fluxograma.

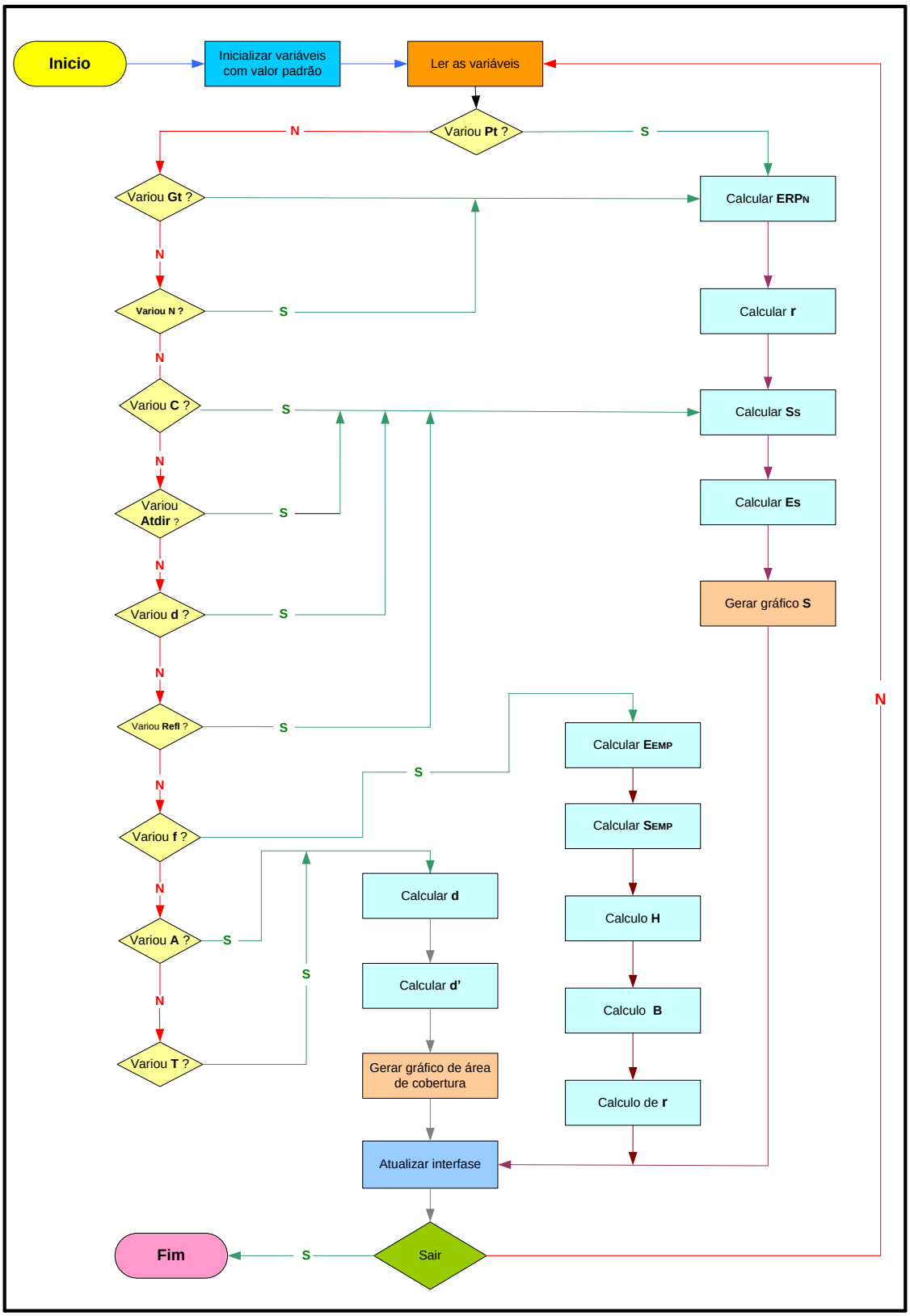


Figura 3.38 – Fluxograma do simulador

No item 3.4 faremos uma explicação detalhada do simulador, mostrando todos os recursos disponíveis através de telas gráficas com seus respectivos campos.

3.4 - Introdução

O simulador de torre CDMA é constituído de um “Arquivo” onde disponibilizamos os seguintes campos: cálculos, gráfico “S”**,** gráfico de (Área de Cobertura), Antenas, Cabos, Torres e Site. A figura 3.39 ilustra os campos do simulador.

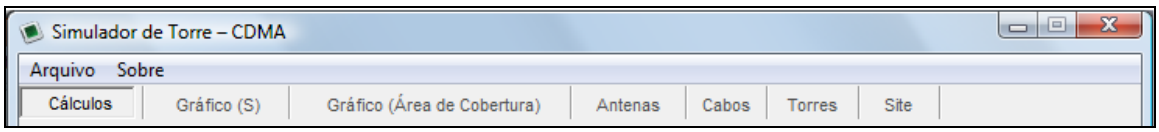


Figura 3.39 – Campos do simulador

No próximo item faremos uma explicação do campo de “Cálculo”.

3.4.1 – Campo de Cálculos

O campo “Cálculos” é constituído de seis grandezas: Potência Radiada Efetiva, Valores Permissíveis pela ICNIRP, Densidade de Potência no Setor, Distância Mínima, Campo Elétrico no Setor, Área de Cobertura, Conversões. A figura 3.40 mostra a tela com as funções do campo de “Cálculo”.

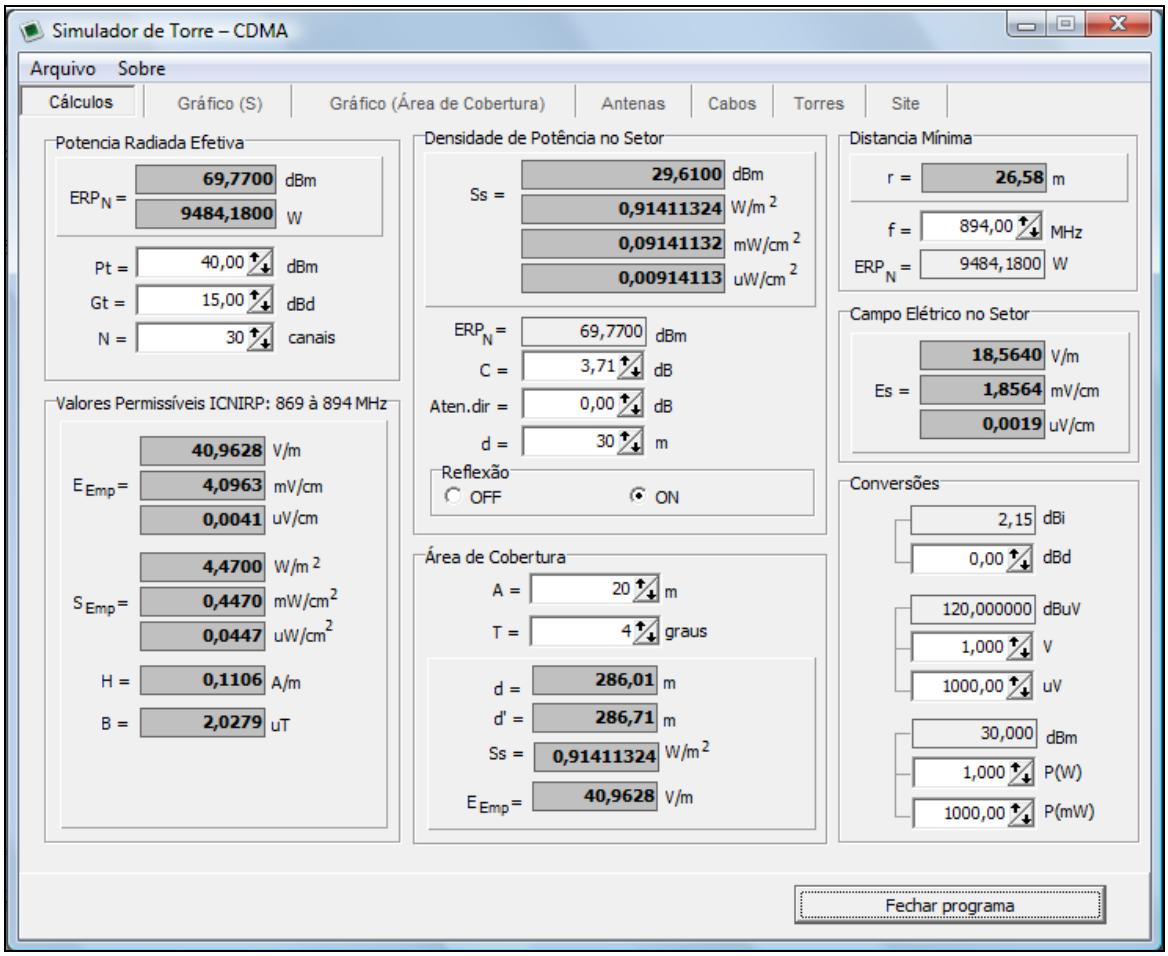


Figura 3.40 - Campo de Cálculos.

No item 3.42 descreveremos detalhadamente a função do campo de "Potência Radiada Efetiva."

3.4.2 – Campo de Potência Radiada Efetiva (ERP_N)

No campo de potência radiada efetiva, podemos ter os resultados nas unidades: "dBm" ou em "W". As variáveis de entrada para se obter os resultados da ERP_N são: potência do canal do rádio (P_t) dado em "dBm"; ganho da antena (Gt) dado em "dBd"; quantidade de canais de rádio (N). Quando inserimos as variáveis (Pt; Gt; N) automaticamente o valor de "ERP_N" é recalculado. O "Pt" apresenta um ajuste de potência compreendida de 40 a 45 (dBm); o "Gt"

apresenta uma faixa de ajuste de ganho: de 5 a 25 (dBd) e “N” apresenta uma faixa de ajuste de canais de rádio entre 1 e 200 canais.

A figura 3.41 mostra o campo “ERP_N” com suas respectivas variáveis de entrada “Pt”, “Gt”, “ N”.

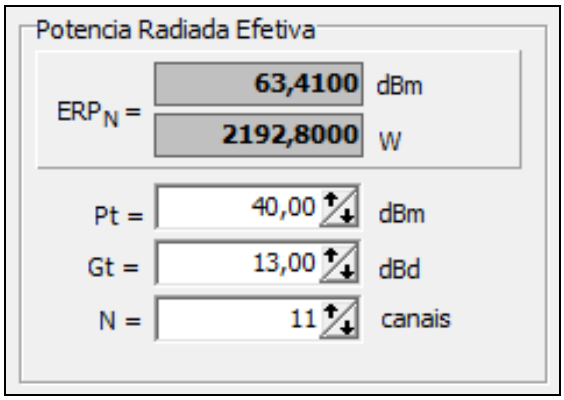


Figura 3.41 - Potência Radiada Efetiva.

No item 3.4.3, explicaremos através do campo “Valores Permissíveis ICNIRP” valores de Campo Elétrico, Densidade de Potência, Campo Magnético e Densidade de Fluxo Magnético.

3.4.3 – Campo “Valores Permissíveis ICNIRP”

A ANATEL é um Órgão nacional que tem como funç especificar, licenciar e fiscalizar o espectro de rádiofrequência utilizado a nível nacional. A Resolução N.o 303, da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) adotou as Diretrizes da ICNIRP para limitação de exposição de campos elétricos, magnéticos e eletromagnético na faixa de rádiofrequência que vai de 9 kHz à 300 GHz.

Através deste campo apresentamos as seguintes grandezas: Campo Elétrico com exposição máxima permissível (E_{EMP}) com unidades em V/m, mV/cm, µV/cm; Densidade de Potência com exposição máxima permissível

(SEMP) com unidades em w/m^2 ,mV/cm^2, $\mu V/cm^2$,Campo Magnético (H) dado em A/m; Densidade de Fluxo Magnético (B) dado em µT. Quando variamos a frequência (f) do campo da “Distância Mínima” os valores de EEMP, SEMP, H e B são recalculados automaticamente. Os valores de frequência estão compreendidos no estudo em pauta: 869 á 894 MHz. A figura 3.42 mostra o campo “Valores Permissíveis ICNIRP”

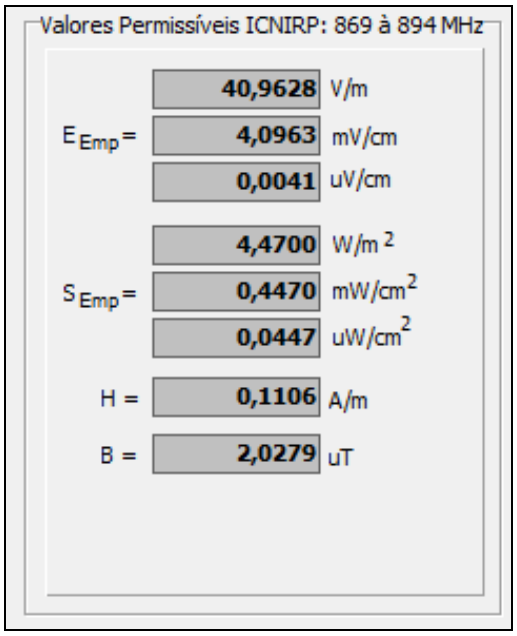


Figura 3.42 - Valores Permissíveis

No ítem a seguir, faremos uma explicação detalhada do campo: Densidade de Potência no Setor.

3.4.4 – Campo de Densidade de Potência no Setor (Ss)

Definimos como densidade de potência em rádiopropagação, a potência que atravessa uma área unitária normal na direção de propagação. Exprimimos em watts por metro quadrado w/m^2.

Através do campo de “Densidade de Potência no Setor”, obtemos os

resultados nas unidades: “dBm” w/m^2 ,mV/cm^2, $\mu V/cm^2$ Temos também neste campo o cálculo do “ERP_N” expresso em “dBm”. As variáveis da “Densidade de Potência no Setor” são constituídas dos seguintes parâmetros. “Atenuação” de sinal de RF no cabo (C) em função do seu comprimento físico, dado em “dB”, com o qual podemos ajustar as perdas entre 0 e 30 (dB). “Atenuação de Direção” (Aten. Dir.) dada em “dB”, que significa o afastamento do ângulo horizontal (azimute) do lóbulo principal da antena, com o qual podemos ajustar as perdas entre 0 e 30 (dB); “Distância da Antena (d) que significa a distância da antena ao ponto a ser medido é dada em “m” e por sua vez podemos ajustar de 0 a 200 (m). O valor de “Reflexão do Sinal” de RF apresenta como conseqüência um aumento na densidade de potência no setor de 4,08 dB em função das reflexões (solo, água, ou edificação) ocasionadas por multipercurso do sinal de RF.

Quando inserimos qualquer uma das variáveis (C; Aten.dir; d; Reflexão) o valor de S_S e ERP_M são automaticamente recalculado. A figura 3.43 ilustra o campo de “Densidade de Potênciano Setor”.

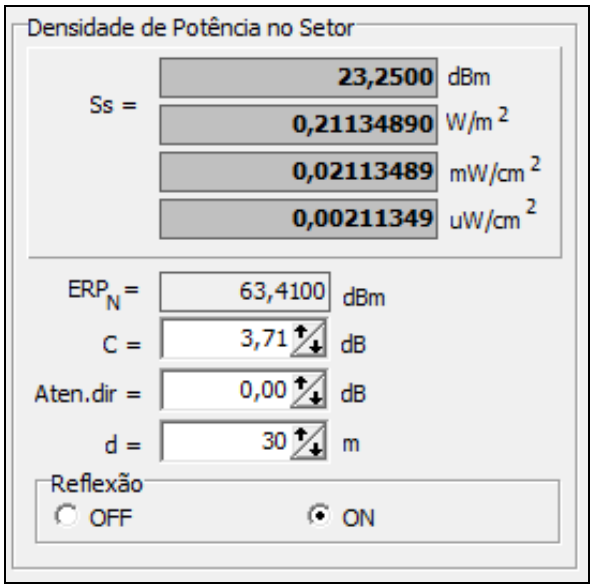


Figura 3.43 - Densidade de Potência no Setor.

No item 3.4.5, daremos um detalhamento a respeito da “Área de Cobertura” e sua importância na iluminação (área de cobertura) da célula.

3.4.5 – Campo de Área de Cobertura

Definimos a área de cobertura como região onde o sinal de RF está espalhado em todos os setores da célula. Uma área de cobertura ineficiente ocasiona a queda do sinal de RF e traz como consequência a interrupção da comunicação. Obtemos “Área de Cobertura” através da potência do canal de rádio, altura da antena, ganho da antena e inclinação da antena em direção ao solo.

No estudo em pauta o campo “Área de Cobertura” é obtido com as variáveis: altura (A) da antena em relação ao solo, dada em “m” com uma altura ajustável de 0 a 60 (m) e com ângulo de inclinação da antena (T) em relação ao solo, expressa em graus, com uma faixa de ajuste de 1 a 16 (graus).

A operação no campo de “Área de Cobertura” é realizada em dois passos. Primeiramente alteramos os valores de “A” e “T” , e obtemos como resultado os valores da (d) distância da torre ao ponto a ser medido e a (d’) distância da antena ao ponto são recalculados. As distâncias de ambas são expressas em metros. O segundo passo consiste em entrarmos no campo “Grafico (área de cobertura)” e obtermos como resultado o gráfico (área de cobertura) em função dos valores inseridos em ”A” e “T”, através da descrição do primeiro passo.

Os valores de “Densidade de Potência no Setor” (S_S) e o “Campo Elétrico efetivo máximo permitido” (E_{EMP}) não são alterados neste campo. A figura 3.44 exemplica o campo de Área de Cobertura”.

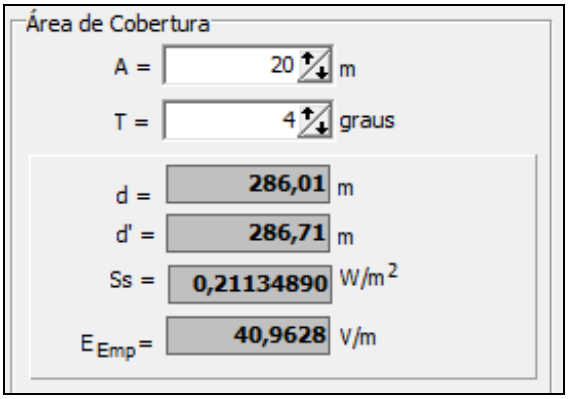


Figura 3.44 - Área de cobertura.

A figura 3.45 mostra um exemplo de área de cobertura onde inserimos os valores: altura de antena “A” com 45 metros e ângulo de inclinação “T” com 1 grau; obteremos como resultado os lóbulos principais e secundários irradiados através da antena.

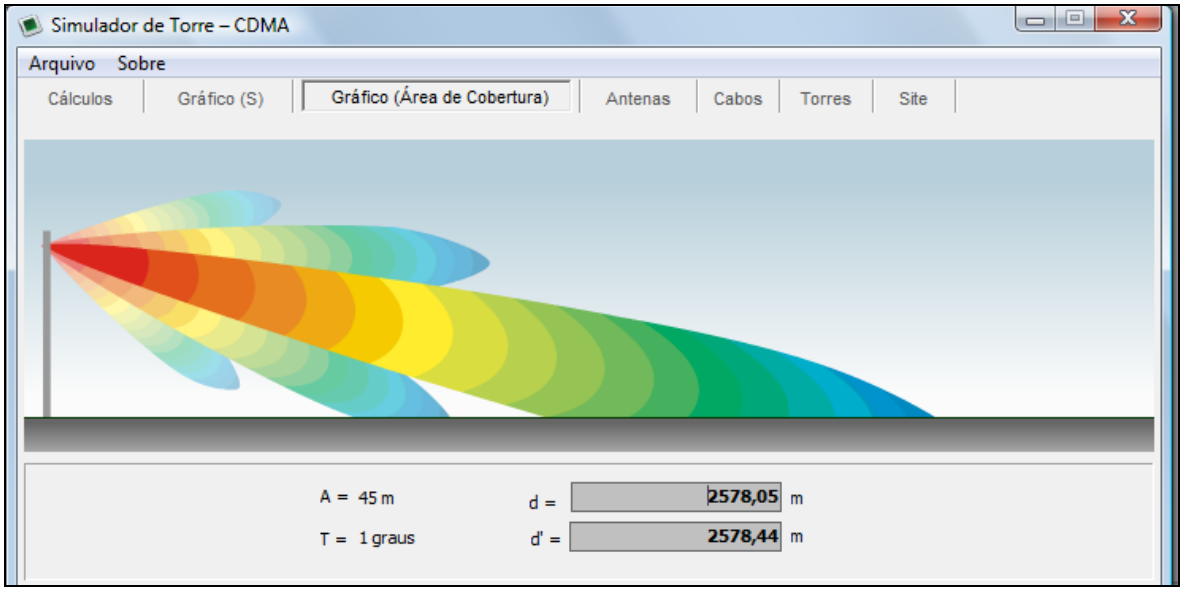


Figura 3.45 - Área de cobertura

No item 3.4.6 explicaremos o campo da “Distância Mínima” para obtermos os valores permissíveis da ICNIRP.

3.4.6 – Campo de Distância Mínima (r).

No campo de distância mínima apresentamos os valores para exposição máxima permitidas para: campo elétrico, densidade de potência, campo magnético e densidade de fluxo magnético. Através do campo da "Distância Mínima" expressamos em metros e temos como variável a frequência (f) operando na faixa freqüência de 869 a 894 (MHz). Quando alteramos a frequência no campo de "Distância Mínima" ocorrem alterações em dois campos: "Distância Mínima" e "Valores Permissíveis".

A figura 3.46 ilustramos o campo de distância mínima.

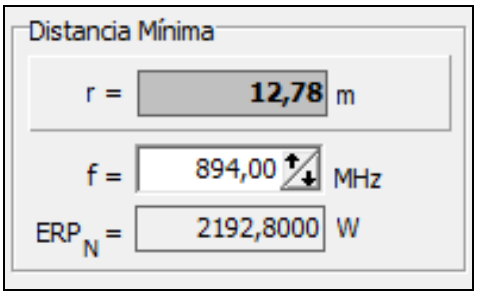


Figura 3.46 - Distância mínima

Para os "Valores Permissíveis", observamos as exposições máximas permissíves para campo elétrico (E_{Emp}) e densidade de potência (S_{Emp}), recalculando-os em função da variação da frequência. O mesmo ocorre para os parâmetros de campo magnético (H) e densidade de fluxo magnético (B). A figura 3.47 mostramos os valores recalculados.

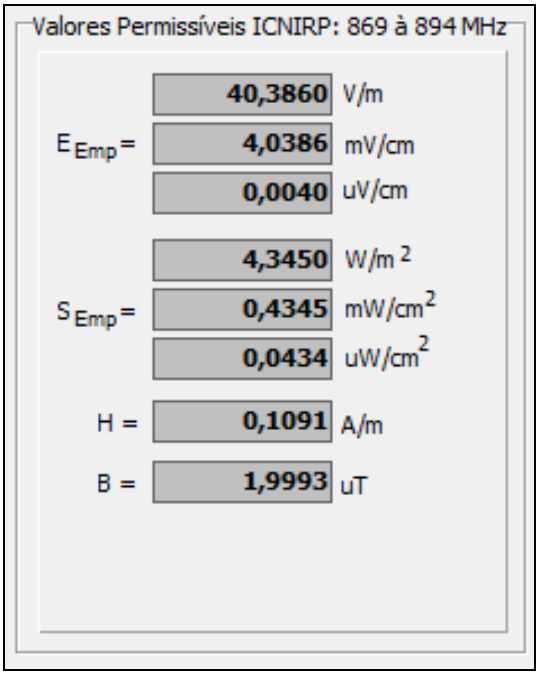


Figura 3.47 – Valores Permissíveis.

No próximo item comentaremos o “Campo Elétrico” no setor de uma célula.

3.4.7 – Campo Elétrico no Setor (Es)

Podemos obter valores de “Campo Elétrico no Setor” através do campo Es. Podemos alterar o “Es” quando alteramos os valores: “Perda no Cabo” cujas atenuações podem ser ajustadas de 0 a 30 (dB); mudando os valores de “At Dir” o qual podemos estimar as perdas de 0 a 30 (dB); “Perda da Distância” (d) entre a antena e o ponto a ser medido permite alterar a distância de 0 a 600 (m). O coeficiente de reflexão, por sua vez, atua através do “Es” como reforço do sinal de RF. Podemos obter os resultados em V/m; mV/cm e µV/m.

Alem do mais, podemos alterar o valor de “Es” através do campo “ERP_N “ modificando os valores de “Pt”; “Gt”; “N”. A figura 3.48 mostra um exemplo de cálculo de “Es”.

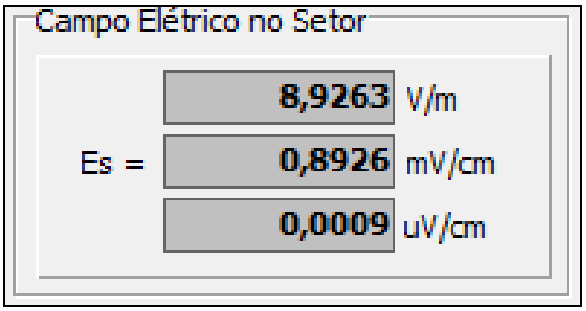


Figura 3.48 - Campo Elétrico no Setor.

O “Campo de Conversões” facilitara a obtenção de resultados, dispensando o uso de fórmulas e calculadoras.

3.4.8 – Campo de Conversões

Através do campo de “Conversões” é possível fazer a transformação de valores utilizados no campo de “Cálculos” facilitando a obtenção de resultados.

Em antenas, seus respectivos ganhos podem ser expressos em dBd (decibel dipolo) ou dBi (decibel isotrópico). O campo de conversão nos possbilita fazer a alteração de valores de dBd para dBi.

O campo elétrico “E_{EMP}”, situado no campo de “Valores Permissíveis ICNIRP” pode ter seus valores expressos em V/m, mV/cm e µV/m. Através do campo de “Conversões” podemos entrar com o valores em Volts e micro Volts e obtermos os resultados em dBµV. A figura 3.49 mostra o campo de conversões.

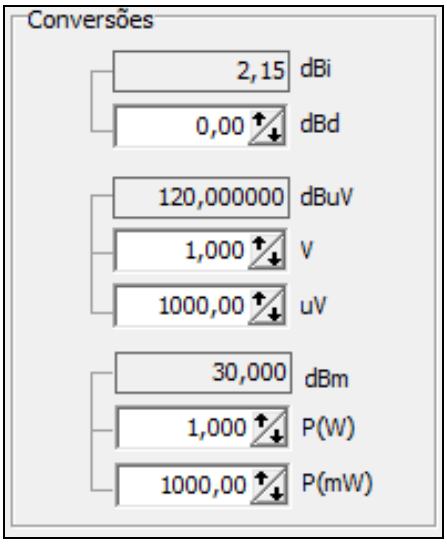


Figura 3.49 – Conversões

No item 3.4.9 faremos uma abordagem da “Densidade de Potência” em uma célula através de gráfico.

3.4.9 – Gráfico de Densidade de Potência “S”

Através do gráfico da densidade de potência ilustramos a distribuição do sinal de RF através dos canais de rádio envolvendo os três setores de uma célula. Estamos supondo que a distribuição do sinal de RF é uniforme em toda a sua distribuição e apresenta uma área de cobertura livre de zona de sombra.

Este campo nos mostra a variação (aumento ou diminuição) da densidade de potência ”S” quando alteramos as variáveis: Potência do Canal de Rádio (P_t), Ganho da Antena (G_t), Número Canais de Rádio (N), Perdas no Cabo (C), Atenuação Direcional (At_{dir}) e Reflexão do Percurso (R_{efl}).

O gráfico de Densidade de Potência nos oferece um raio de cobertura de 600 metros a partir do centro da célula. Observamos que a Densidade de Potência é maior no centro da célula e vai diminuído gradativamente a medida

que nos afastamos. Notamos através deste gráfico que, próximo ao centro da célula, o nível de “S” apresenta um valor de 192,658240 W/m’2 (vermelho) e quando nos afastamos do centro da célula o nível de “S”, a uma distância de 600 metros o valor de “S” apresenta uma valor de 0,481646 w/m^2 (azul escuro)

A figura 3.50 exemplifica a variação da densidade de potência em função da distância.

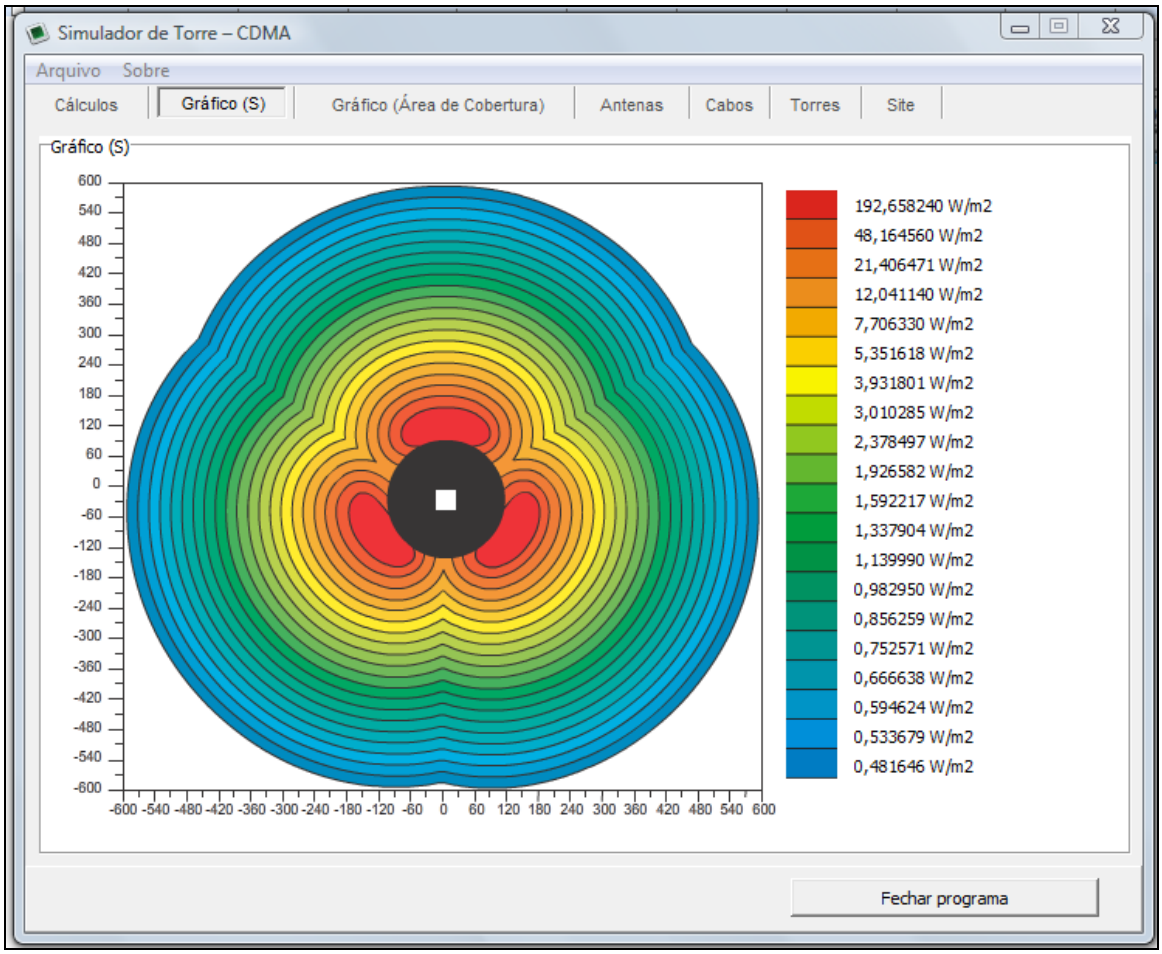


Figura 3.50 - Densidade de Potência “S”

No item 3.4.10 explicaremos o “Gráfico de área de Cobertura”

3.4.10 – Gráfico de Área de Cobertura

Podemos definir como área de cobertura o local geográfico circunscrito por sinais de rádiofrequência. A área de cobertura em cada setor de célula pode

apresentar um raio diferente em função do estudo do tráfego telefonico. Os parâmetros responsáveis pela área de cobertura são: altura da antena (A) em relação ao solo e ângulo de inclinação da antena (T) em relação ao solo. Podemos ajustar a altura da antena de 0 a 60 (m) e o ângulo de inclinação de 1 a 16 (graus) através do campo de cálculo de “Área de Cobertura”. Quando alteramos os valores de “A” e “T” consequentemente redimencionamos o Gráfico de área de cobertura. Observamos que quanto menor for o ângulo de inclinação da antena maior será a área de cobertura e vice versa.

A figura 3.51 exemplifica o “Gráfico de Área de Cobertura” onde possicionamos a altura da antena na torre a 45 metros do solo e o ângulo de inclinação a 1 grau. Tivemos como resultado um raio de 2.578,05 metros de abrangência.

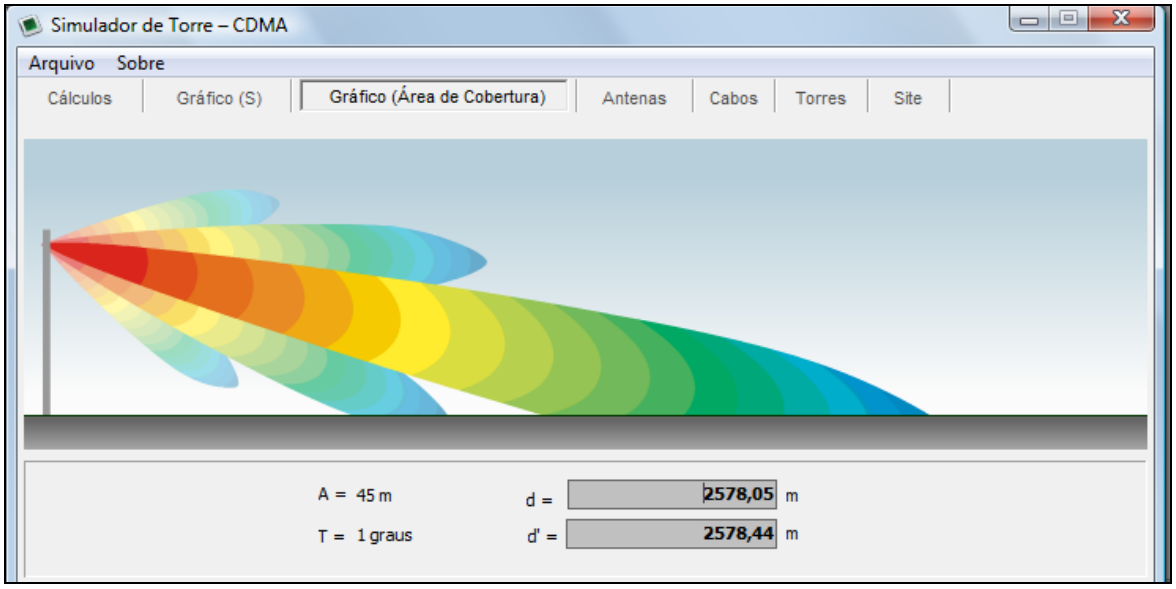


Figura 3.51 - Área de Cobertura.

A figura 3.52 apresentamos a altura de antena (A), distância da torre no ponto a ser medido (d) e distância da antena com inclinação no ponto a ser medido (d’).

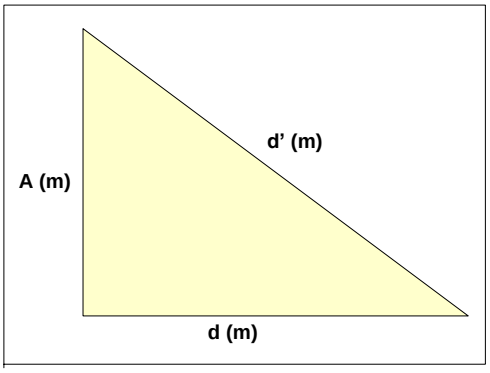


Figura 3.52 - Distância da medição.

No próximo item descreveremos o resumo dos cálculos e gráficos mencionados nos itens anteriores.

3.5 - Resumo do Campo de Cálculo

Para revisar e reforçar os conhecimentos mencionados nos itens anteriores mencionados, construímos uma tabela da operação do simulador.

A tabela 11 apresenta um resumo no menu de Cálculo**:** Potência Radiada Efetiva, Valores Permissíveis pela ICNIRP, Densidade de Potência no Setor, Distância Mínima, Campo Elétrico no Setor, Área de Cobertura. Menu Gráfico de "S" e Gráfico de Área de Cobertura.

A marca "X" nas células indica que as variáveis do sistema alteram o resultado dos valores calculados. Por exemplo, quando é variado o valor da potência de transmissão do canal de rádio (P_t), consequentemente são alterados os valores calculados: Potência Efetiva Irradiada (ERP_N); Densidade de Potência no Setor da Célula (S_S); Distância mínima(r); Campo Elétrico no Setor da Célula (E_S); Valores de Densidade de Potência (S) do Gráfico. A tabela 3.10 mostra as funções do simulador.

Valor Calculado	Variáveis do Sistema									
	P_t	G_t	N	C	$At._{dir}$	d	Refl.	f	A	T
ERP_N	X	x	x	-----	-------	------	-------	-----	------	------
E_{EMP}	------	------	------	------	-------	------	-------	x	------	------
S_{EMP}	------	------	------	------	-------	-------	------	x	------	------
H	------	------	------	------	-------	-------	------	x	------	------
B	------	------	------	------	-------	-------	---------	x	------	------
S_S	x	x	x	x	x	x	x	-----	------	------
D	------	------	------	------	-------	-------	---------	-----	x	X
d'	------	------	------	------	-------	-------	---------	-----	x	X
R	x	x	x	------	-------	-------	---------	x	------	------
E_S	x	x	x	x	x	x	x	-----	------	------
Gráfico (S)	x	x	x	x	x	x	x	-----	------	------
Área Abertura	------	------	------	------	-------	-------	---------	-----	x	X

Tabela 3.10 - Funções do simulador

No próximo item, abordaremos as especificações das antenas empregadas na telefonia celular.

3.6 – Campo de Antenas.

3.6.1 – Introdução

Com o objetivo de aproximar os resultados calculados dos valores reais, utilizamos as informações de fabricantes de antenas para extrairmos as especificações técnicas bem como suas carateristicas construtivas, elétricas e mecânicas. Através do campo de "Cálculo", inserimos dados para obter resultados. Podemos retirar as especificações elétricas de fabricantes para realizarmos os cálculos: faixa de frequência de operação, ganho, inclinação da antena em relação ao solo, diagrama de irradiação vertical e horizontal.

Para o estudo em pauta escolhemos os fornecedores de sistema irradiante relevante a nível mundial: RFS World, Andrew e Kathrein. Como fornecedor de antena em nível nacional optamos pela Brasilsat. Encontramos os fornecedores citados em qualquer site de sistema de telefonia móvel instalado a nível mundial.

Para importarmos as especificações técnicas dos fornecedores de produtos, precisamos manter o simulador conectado à Internet de onde importamos os dados contidos em arquivos HTML, carregados através do simulador. Com o objetivo de mantermos as especificações de sistema irradiante atualizadas e seguras, não utilizamos nenhum banco de dados para extrair as especificações. Salientamos que o simulador requer uma conecção com a internet para o seu funcionamento.

Através do campo de "Antenas" chega-se aos fabricantes: RFS, Brasilsat, Kathrein e Andrew.

No próximo item faremos uma abordagem das antenas RFS bem como as suas especificações técnicas.

3.6.2 – Antenas RFS (Rádio Frequency System)

Quando entramos no campo com de "Antenas – RFS" aparece um outro campo chamado Base Station (estação base). Utilizamos as antenas Base Station nas ERBs de telefonia celular. A figura 3.53 mostra o campo "Antena – RFS" do tipo Base Station.

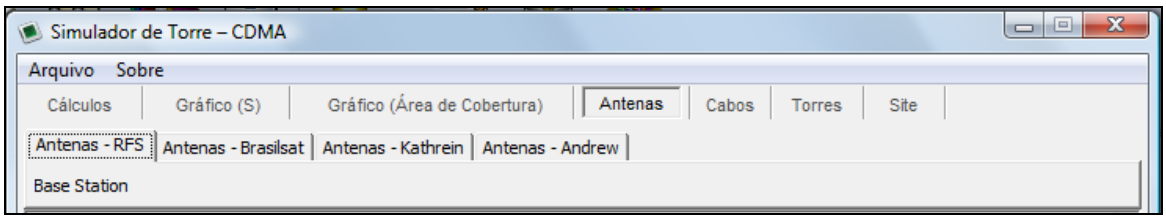


Figura 3.53 - Tipos de Antenas da RFS.

Quando entramos no campo "Base Station" aparecem três colunas: código da antena (ALE859012-42T0), arquivo em PDF e especificações resumidas: Optimezer; Log Periodic Antenna (faixa larga de frequência de operação); 806-941 (faixa de frequência); 90deg (abertura horizontal); 13,6 dBi

(ganho da antena); 1,2m (altura da antena); Manual VET, 0-14 deg (tilt elétrico ajustável). A figura 3.54 ilustra o campo “Base Station”.

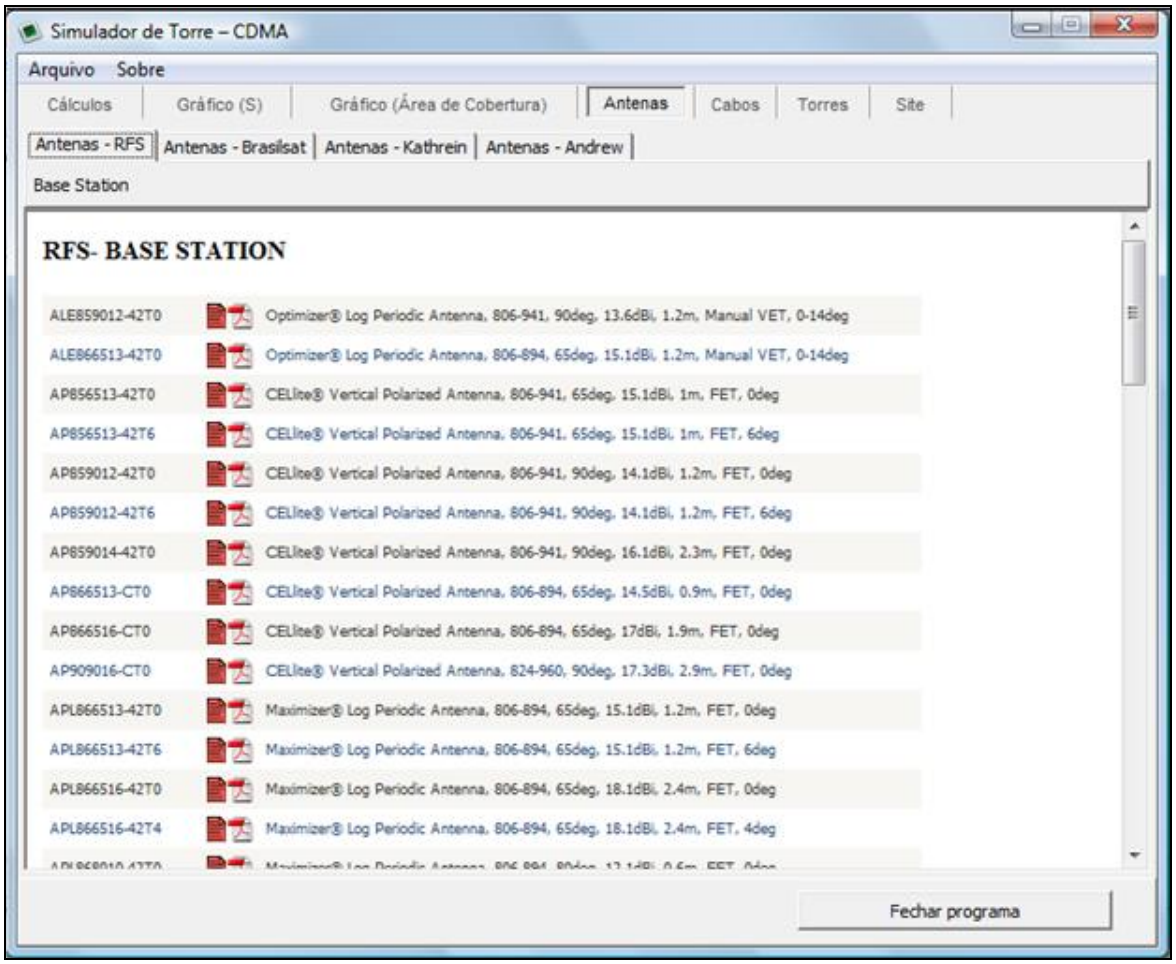


Figura 3.54 - Antena da RFS Base Station.

Quando posicionamos “PDF” abilitamos o “Data Sheet” (folha de dados) da antena com as especificações detalhadas: foto, características elétricas e mecânicas, diagrama de irradiação vertical e horizontal. A figura 3.55 mostra as especificações da antena ALE859012-42T0.

Technical Data Sheet

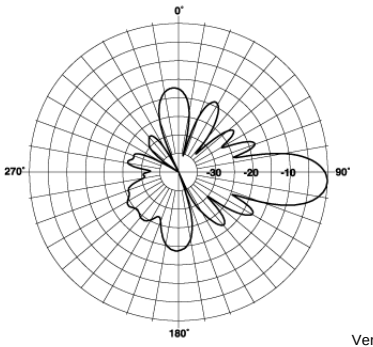
ALE859012-42T0

Optimizer® Log Periodic Antenna, 806-941, 90deg, 13.6dBi, 1.2m, Manual VET, 0-14deg

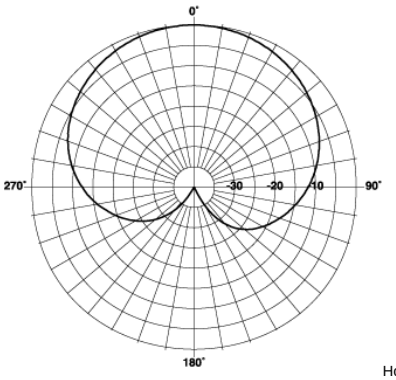
ALE859012 Series

Technical Specifications

Electrical Specifications	
Frequency Range, MHz	806-941
Horizontal Beamwidth, deg	90
Vertical Beamwidth, deg	16
Electrical Downtilt, deg	0-14
Gain, dBi (dBd)	13.6 (11.5)
Front-To-Back Ratio, dB	40
Polarization	Vertical
VSWR	< 1.5:1
Impedance, Ohms	50
Maximum Power Input, W	500
Lightning Protection	Direct Ground
Connector Type	7-16 DIN Female
Mechanical Specifications	
Dimensions - HxWxD, mm (in)	1227 x 257 x 197 (48.3 x 10.1 x 7.75)
Weight w/o Mtg Hardware, kg (lb)	8 (18)
Survival Wind Speed, km/h (mph)	200 (125)
Rated Wind Speed, km/h (mph)	200 (125)
Max Wind Loading Area, m² (ft²)	0.39 (4.2)
Maximum Thrust @ Rated Wind, N (lbf)	1169 (263)
Wind Load - Side @ Rated Wind, N (lbf)	916 (206)
Radome Material	UV Resistant ABS
Shipping Weight, kg (lb)	9.1 (20)
Packing Dimensions, HxWxD, mm (in)	1448 x 406 x 305 (57 x 16 x 12)
Ordering Information	
Mounting Hardware	10228 Clamp Set



Vertical Pattern



Horizontal Pattern

Figura 3.55 - Product Data Sheet - ALE859012-42T0

No item 3.6.3 abordaremos as especificações técnicas das antenas Brasilsat.

3.6.3– Antenas da Brasilsat

Quando posicionamos o campo “Brasilsat Antenas”, é habilitada uma “Lista Geral” de especificações: faixa de frequência (824 – 894 MHz), modelo, diâmetro, polarização, ganho médio (dBi), cruzada dB (polarização usada em sistema irradiantes de ERBs +/- 45 graus), frente e costa (dB), VSWR (dB), Antenas Omnidirecionais – Terminação DIN 7/16 (tipo de conector que usamos na antena), Antenas Setorizadas tipo Painel . A figura 46 a seguir ilustra os parâmetros das antenas do tipo painel usadas na telefonia celular.

Por exemplo, quando posicionamos o código da antena “SDVD82-607-I” será aberto o Data Sheet da antena com sua foto, características elétricas, ambientais e mecânicas. A figura 3.56 mostra as características da antena “SDVD82-607- I.

SDV82-607-I

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS	
Frequência de Operação	824-894MHz
Polarização	linear
Ganho (+ 0.2)	
::Início da Faixa	0,00 dBi
::Meio da Faixa	9,20 dBi
::Final da Faixa	0,00 dBi
Feixe de Meia Potência[Freq. Central]	60 (H)
Discriminação Polarização Cruzada	23,00 dB
Relação Frente-Costas	
VSWR (Perda de Retorno)	20
Potência Máxima de Entrada	1.3 (17,7 dB) W
Envoltórias (EDI)	
::Anatel	Resol. N/A
Terminação (flange) do Alimentador	

CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS	
Diâmetro	
Área de Exposição ao Vento	
::Frontal	500,00m2
::Lateral	0,81m2
Movimentação	
::Azimute (fino)	160,00
::Elevação	±
Diâmetro do tubo de Montagem	± mm
Número de Barras de Azimute	"
Peso Líquido	Kg
Embalagem	
::Peso Total (típico)	2,00 kg
::Volume	m3
::Dimensões	m
Material do Refletor	
Material da Estrutura	
Acabamento	
::Refletor	
::Estrutura	
Precisão de Superfície	mm

CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS	
Vento Operacional	- Km/h
Vento de Sobrevivênvia	120,00 Km/h
Choques e Vibrações	
Atmosfera	

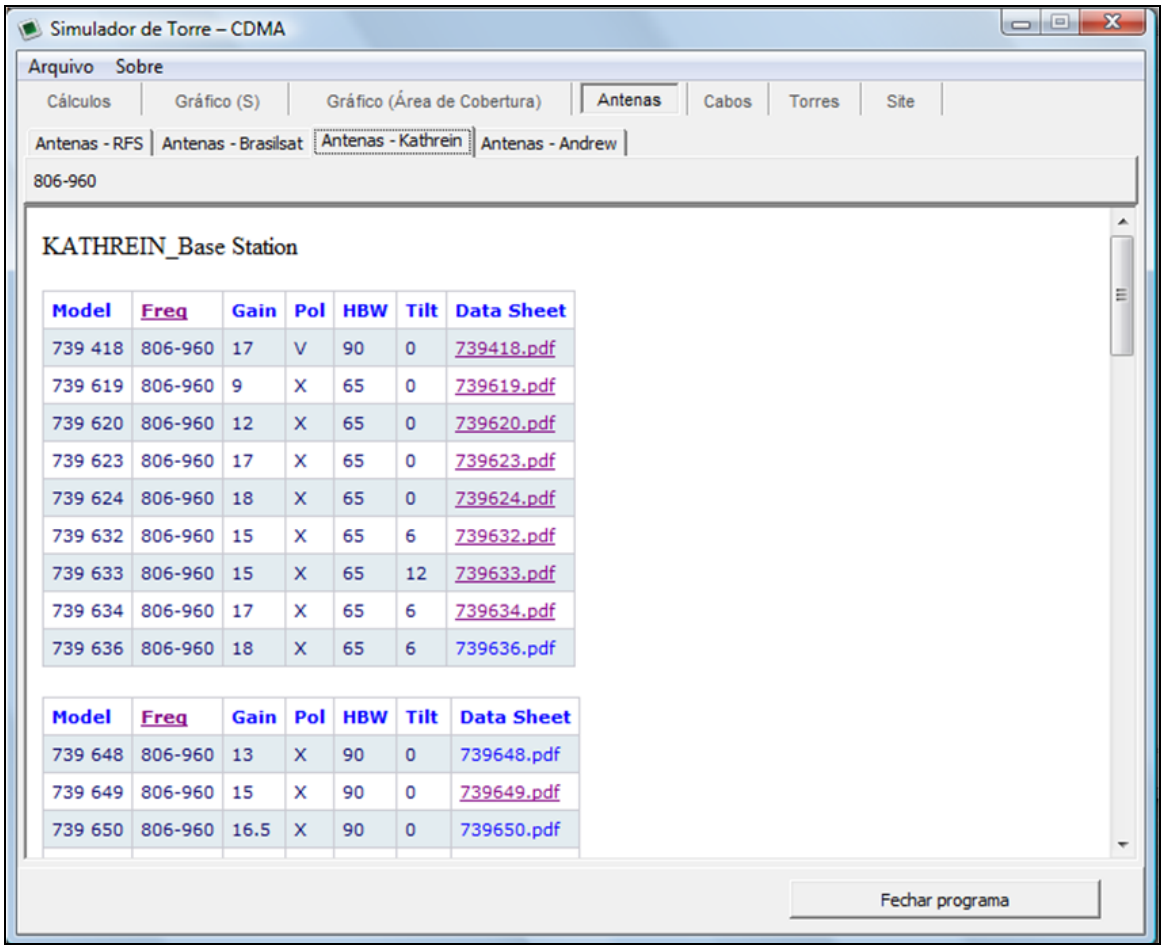
Figura 3.56 – Data Sheet antena SDV71 – 608 -1

No item 3.6.4 trataremos das antenas base station Kahrein.

3.6.4 – Antenas Kathrein

Quando posicionamos o campo “Antenas – Kathrein”, mostramos uma lista de antenas que estão na faixa de 806 a 960 (MHz) bem como o seu, Model (modelo), Freq (frequência), Gain (ganho), Pol (polarização), HBW (abertura horizontal), Tilt (ângulo de inclinação), Data Sheet (folha de dados). Por exemplo, seguindo o primeiro código obtemos: Model 739418; Freq 806 – 960; Gain 17; Pol

V (vertical); HBW 90; Tilt 0; Data Sheet 739418 PDF. A figura 3.57 mostra as especificações resumidas das antenas.



Model	Freq	Gain	Pol	HBW	Tilt	Data Sheet
739 418	806-960	17	V	90	0	739418.pdf
739 619	806-960	9	X	65	0	739619.pdf
739 620	806-960	12	X	65	0	739620.pdf
739 623	806-960	17	X	65	0	739623.pdf
739 624	806-960	18	X	65	0	739624.pdf
739 632	806-960	15	X	65	6	739632.pdf
739 633	806-960	15	X	65	12	739633.pdf
739 634	806-960	17	X	65	6	739634.pdf
739 636	806-960	18	X	65	6	739636.pdf

Model	Freq	Gain	Pol	HBW	Tilt	Data Sheet
739 648	806-960	13	X	90	0	739648.pdf
739 649	806-960	15	X	90	0	739649.pdf
739 650	806-960	16.5	X	90	0	739650.pdf

Figura 3.57 - Antenas Kathrein 806 – 960 MHz

Por exemplo, quando posicionamos o “Model” 739418. pdf, são mostradas as fotos da antena com o diagrama de irradiação horizontal e vertical, bem como as especificações elétricas da mesma. A figura 3.58 ilustra o “Model” 739418. pdf.

KATHREIN
SCALA DIVISION

739 418

90° Panel Antenna

Kathrein-Scala 90° panels are designed for conventional space diversity systems.

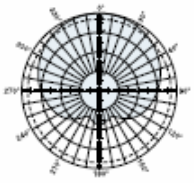
- High strength UV-resistant radome.
- Alodined rigid aluminum reflector/back plane.
- DC Grounded metallic parts for impulse suppression.
- Fixed downtilt options.

Specifications:

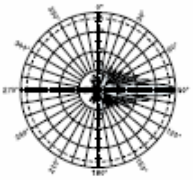
Frequency range	806–960 MHz
Gain	17 dBi (806–960 MHz)
Impedance	50 ohms
VSWR	< 1.5:1
Intermodulation (2x20w)	IM3: -150dBc
Polarization	Vertical
Front-to-back ratio	>23 dB
Maximum input power	500 watts (at 50°C)
H-plane beamwidth	90 degrees (half-power)
E-plane beamwidth	6.5 degrees (half-power)
Electrical down tilt	0 degrees
Connector	7-16 DIN female
Weight	26.5 lb (12 kg)
Dimensions	101.3 x 10.2 x 4.1 inches (2574 x 258 x 103 mm)
Equivalent flat plate area	9.4 ft² (0.873 m²)
Wind survival rating*	120 mph (200 kph)
Shipping dimensions	114.5 x 11 x 6 inches (2908 x 280 x 153 mm)
Shipping weight	37 lb (16.8 kg)
Mounting	Fixed and tilt-mount options are available for 2 to 4.6 inch (50 to 115 mm) OD masts.

See reverse for order information.

*Mechanical design is based on environmental conditions as stipulated in EIA-222-F (June 1996) and/or ETS 300 019-1-4 which include the static mechanical load imposed on an antenna by wind at maximum velocity. See the Engineering Section of the catalog for further details.



H-plane
Horizontal pattern
V-polarization



E-plane
Vertical pattern
V-polarization

Figura 3.58 – Data Sheet antena 739 418

A seguir trataremos das antenas Andrew.

3.6.5 – Antenas da Andrew.

Quando posicionamos o campo “Andrew - Antenas”, listamos as antenas utlizadas na faixa de frequência: 806 – 960 MHz. A figura 3.59 mostra o campo “Antenas – Andrew”.

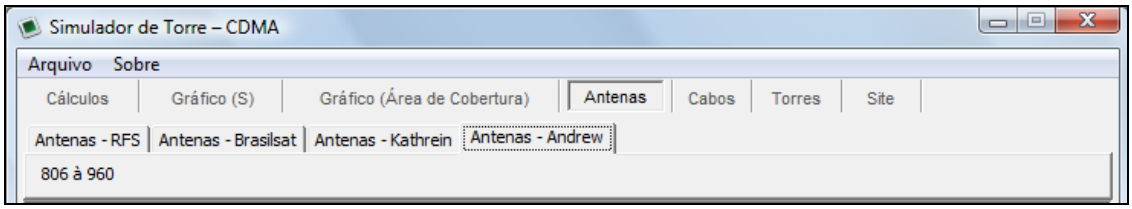
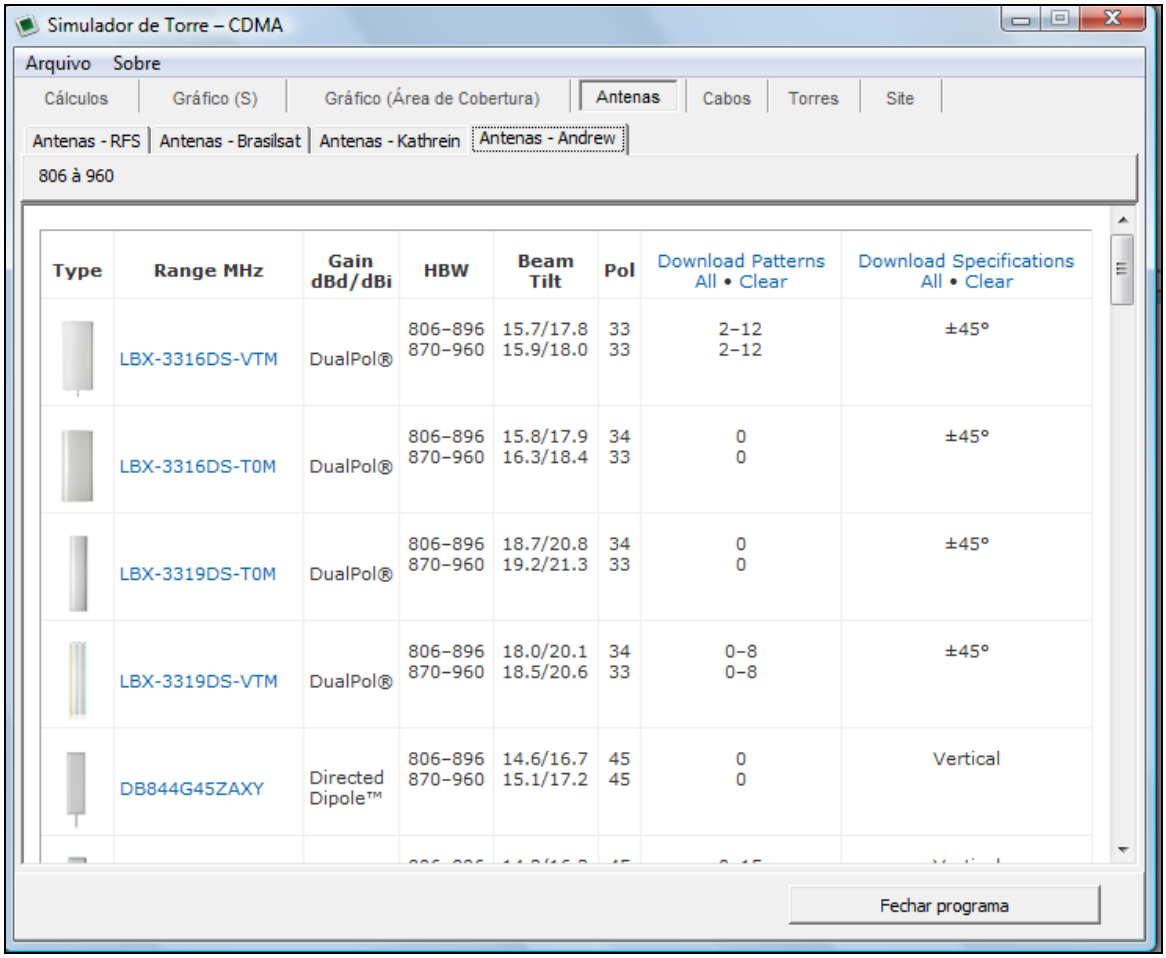


Figura 3.59 - Antenas Andrew – 806 a 960 MHz

Posicionando no campo “806 a 960” temos a lista das carateristicas das antenas: Type (tipo), Range MHz (faixa de frequência), Gain dBd/dBi (ganho), HBW (abertura horizontal), Beam Tilt (ângulo de feixe), polarização no menu “Andrew Antenas”, lista-nos as especificações bem como, type, Range MHz, Gain dBd/dBi, HBW, Beam Tilt, Pol. A figura 3.60 mostra as especificações da antena de forma reduzida.



Type	Range MHz	Gain dBd/dBi	HBW	Beam Tilt	Pol	Download Patterns All • Clear	Download Specifications All • Clear
	LBX-3316DS-VTM	DualPol®	806–896 870–960	15.7/17.8 15.9/18.0	33 33	2–12 2–12	±45°
	LBX-3316DS-T0M	DualPol®	806–896 870–960	15.8/17.9 16.3/18.4	34 33	0 0	±45°
	LBX-3319DS-T0M	DualPol®	806–896 870–960	18.7/20.8 19.2/21.3	34 33	0 0	±45°
	LBX-3319DS-VTM	DualPol®	806–896 870–960	18.0/20.1 18.5/20.6	34 33	0–8 0–8	±45°
	DB844G45ZAXY	Directed Dipole™	806–896 870–960	14.6/16.7 15.1/17.2	45 45	0 0	Vertical

Figura 3.60 - Antenas Andrew

Para visualizar o data sheet de uma antena, basta posicionar em seu código de onde extraímos as informações desejadas. Por exemplo, posicionando no codigo “LBX-3316DS-VTM”, temos a lista dos seguintes dados: foto, especificações gerais, elétricas, mecânicas. A figura 3.61 a seguir exemplifica a antena LBX-3316DS-VTM.

General Specifications	
Antenna Type	DualPol®
Brand	DualPol® | Teletilt®
Operating Frequency Band	806 – 960 MHz

Electrical Specifications

Frequency Band, MHz	**806–896**	**870–960**
Beamwidth, Horizontal, degrees	33	33
Gain, dBd	15.7	15.9
Gain, dBi	17.8	18.0
Beamwidth, Vertical, degrees	15.0	14.0
Beam Tilt, degrees	2–12	2–12
Upper Sidelobe Suppression (USLS), typical, dB	15	15
Front-to-Back Ratio at 180°, dB	36	37
Isolation, dB	30	30
VSWR | Return Loss, db	1.4:1 | 15.6	1.4:1 | 15.6
Intermodulation Products, 3rd Order, 2 x 20 W, dBc	-150	-150
Input Power, maximum, watts	500	500
Polarization	±45°	±45°
Impedance, ohms	50	50
Lightning Protection	dc Ground	dc Ground

Mechanical Specifications	
Color	Light gray
Connector Interface	7-16 DIN Female
Connector Location	Bottom
Connector Quantity	2
Wind Loading, maximum	981.7 N @ 100 mph 220.7 lbf @ 100 mph
Wind Speed, maximum	241.4 km/h | 150.0 mph

Figura 3.61 – Data Sheet antena LBX-3316DS-VTM

No item 3.7, abordaremos os cabos utilizados na instalação de antenas painel.

3.7 – Cabos.

3.7.1 – Introdução.

Com o objetivo de informarmos e capacitarmos o usuário a operar o simulador e deixarmos os valores calculados mais próximo possíveis do real, incerimos um item “Cabos’ que nos atenda na faixa de frequência de operação através do sistema irradiante. Os cabos utilizados no estudo em pauta em transmissão sinais de rádio são do tipo corrugado de cobre com dielétrico de ar ou espuma de poletilênio. Com o propósito de mantermos as informações atualizadas, não criamos nenhum banco de dados de cabos. Todas as informações adquiridas são extraídas do site do fornecedor através de um link com a Internet.

Através do campo de “Densidade de Potência no Setor“ (S_S), aumentamos o tamanho físico do cabo e, consequentemente, incrementamos “Perdas no Cabo” (C) e, além disso, alteramos os valores dos “Gráficos”: “Densidade de Potência no Setor”, “Campo Elétrico no Setor” (E_S).

Escolhemos fornecedores relevantes de cabos a nível mundial: RFS e Andrew. Sendo assim, podemos nos assegurar que em qualquer site de ERB teremos os fornecedores citados.

Quando posicionamos no campo “Cabos” listamos os fornecedores: RFS e Andrew. A figura 3.62 mostra o campo “Cabos” e seus respectivos fornecedores: “RFS” e “Andrew”.

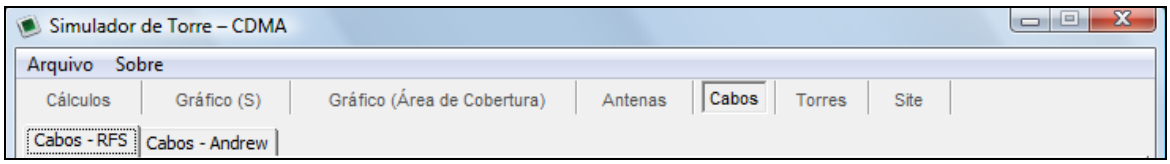


Figura 3.62 – Cabos.

No próximo item, exemplificaremos os “Cabos RFS”.

3.7.2 – Cabos RFS.

Quando possicionamos o campo “Cabos RFS”, listamos os tipos de cabos: “Stardard”, “Superflexible”, “Ultraflexible”. A figura 3.63 a seguir ilustra os “Cabos RFS”.

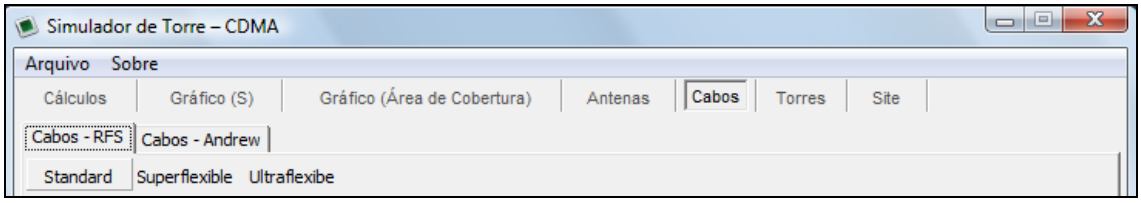


Figura 3.63 - Tipos de cabos RFS.

No proximo item, comentaremos os cabos “Stardard” (padrão)

3.7.2.1 – Cabos Standard

Quando posicionamos em “Stardard”, listamos os códigos dos cabos. “A figura 3.64 apresenta os códigos de cabos com size ¼’’ (diámetro ¼ de polegada) e Size 3/8” (diametro 3/8 polegada).

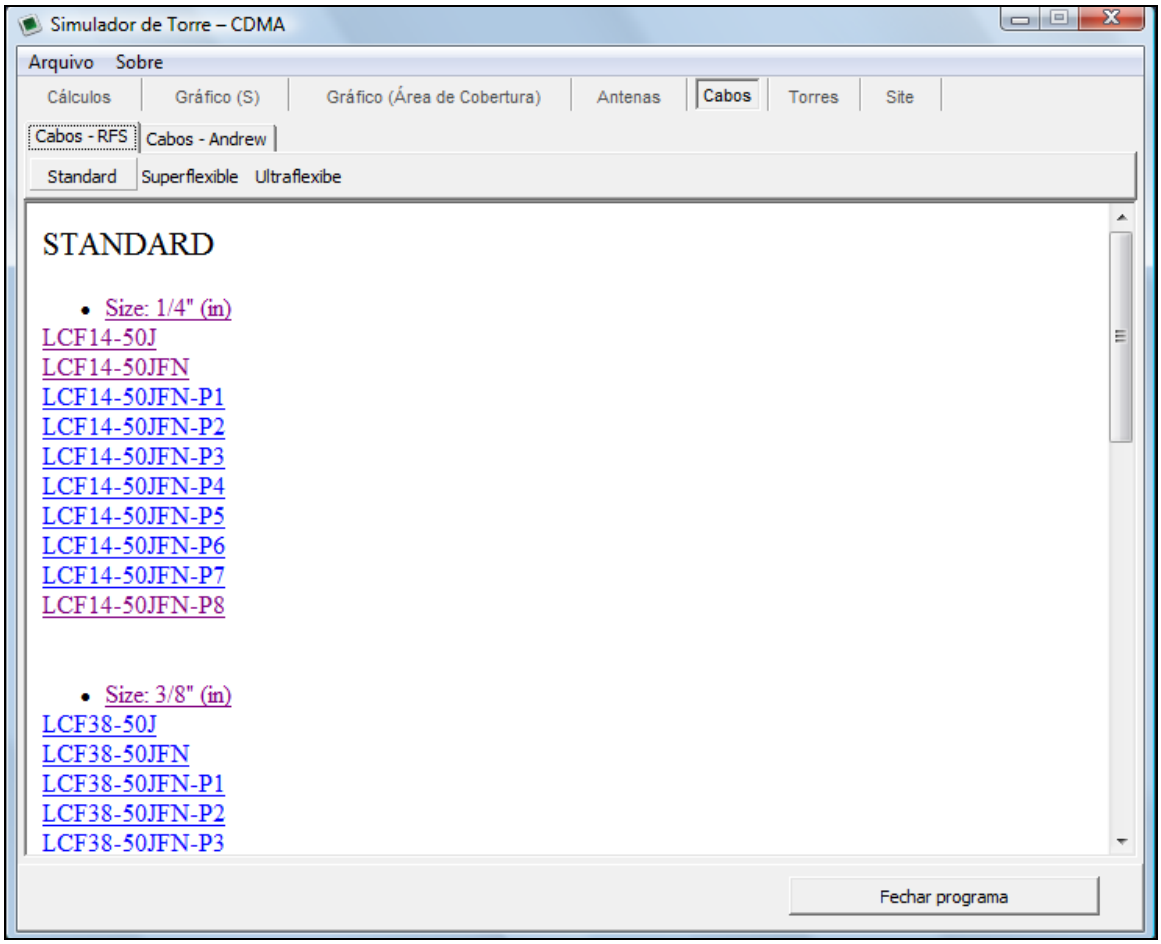


Figura 3.64 - Cabos RFS Standard.

Quando posicionamos, por exemplo, no código "CF14 – 50J", listamos Data Sheet do cabo: foto do cabo, tabela de atenuação *versus* frequência e potência e características técnicas do cabo. A figura 3.65 mostra um exemplo de cabo Stardard.

Technical Data Sheet

LCF14-50J

1/4" CELLFLEX® Low loss Flexible Cable

Product Description

Features/Benefits

Technical Specifications

Structure			
Inner Conductor:	Copper-Clad Aluminum Wire	[mm (in)]	2.4 (0.09)
Dielectric:		[mm (in)]	6.0 (0.24)
Outer Conductor:	Corrugated Copper	[mm (in)]	7.5 (0.3)
Jacket:	Polyethylene, PE	[mm (in)]	10 (0.39)
Mechanical Properties			
Weight, approximately		[kg/m (lb/ft)]	0.11 (0.074)
Minimum bending radius, single bending		[mm (in)]	40 (1.6)
Minimum bending radius, repeated bending		[mm (in)]	120 (5)
Bending moment		[Nm (lb-ft)]	1.9 (1.4)
Max. tensile force		[N (lb)]	890 (200)
Recommended / maximum clamp spacing		[m (ft)]	0.5 / 1.0 (1.75 / 3.25)
Electrical Properties			
Characteristic impedance		[Ω]	50 +/- 1.5
Relative propagation velocity		[%]	83
Capacitance		[pF/m (pF/ft)]	80 (24)
Inductance		[µH/m (µH/ft)]	0.205 (0.063)
Max. operating frequency		[GHz]	15.8
Jacket spark test RMS		[V]	5000
Peak power rating		[kW]	10.9
RF Peak voltage rating		[V]	1050
DC-resistance inner conductor		[Ω/km (Ω/1000ft)]	6.1 (1.86)
DC-resistance outer conductor		[Ω/km (Ω/1000ft)]	4.4 (1.34)
Recommended Temperature Range			
Storage temperature		[°C (°F)]	-70 to +85 (-94 to +185)
Installation temperature		[°C (°F)]	-40 to +60 (-40 to +140)
Operation temperature		[°C (°F)]	-50 to +85 (-58 to +185)

1/4" CELLFLEX® Superflexible Foam Dielectric Coaxial Cable Attenuation Table

Frequency	Attenuation		Power
[MHz]	[dB/100m]	[dB/100ft]	[kW]
0.5	0.291	0.089	10.9
1.0	0.412	0.126	10.9
1.5	0.505	0.154	10.9
2.0	0.583	0.178	10.9
10	1.31	0.399	5.56
20	1.86	0.566	3.92
30	2.28	0.695	3.20
50	2.95	0.900	2.47
88	3.94	1.20	1.85
100	4.20	1.28	1.73
108	4.37	1.33	1.67
150	5.17	1.58	1.41
174	5.58	1.70	1.30
200	6.00	1.83	1.21
300	7.40	2.25	0.985
400	8.59	2.62	0.848
450	9.13	2.78	0.798
500	9.65	2.94	0.755
512	9.77	2.98	0.745
600	10.6	3.24	0.686
700	11.5	3.51	0.632
800	12.4	3.77	0.589
824	12.6	3.83	0.580
894	13.1	4.00	0.556
900	13.2	4.01	0.554
925	13.4	4.07	0.546
960	13.6	4.15	0.535
1000	13.9	4.24	0.523
1250	15.7	4.78	0.464
1500	17.3	5.27	0.421
1700	18.5	5.64	0.393
1800	19.1	5.82	0.381
2000	20.2	6.16	0.360
2100	20.8	6.33	0.351
2200	21.3	6.49	0.342
2400	22.3	6.81	0.326
3000	25.3	7.70	0.288
3500	27.5	8.39	0.265
4000	29.7	9.05	0.245
5000	33.7	10.3	0.216
6000	37.4	11.4	0.195
7000	40.8	12.4	0.178
8000	44.1	13.5	0.165
9000	47.3	14.4	0.154
10000	50.3	15.3	0.145
12000	56.1	17.1	0.130
14000	61.5	18.8	0.118
15800	66.2	20.2	0.110

Figura 3.65 – Cabo LCF14-50J

No item 3.7.2.2 exemplificaremos um cabo “Superflexivel”.

3.7.2.2 – Cabo Superflexible.

Quando posicionamos no campo “Superflexible” listamos os códigos dos cabos. A figura 3.66 mostra seus respectivos cabos.

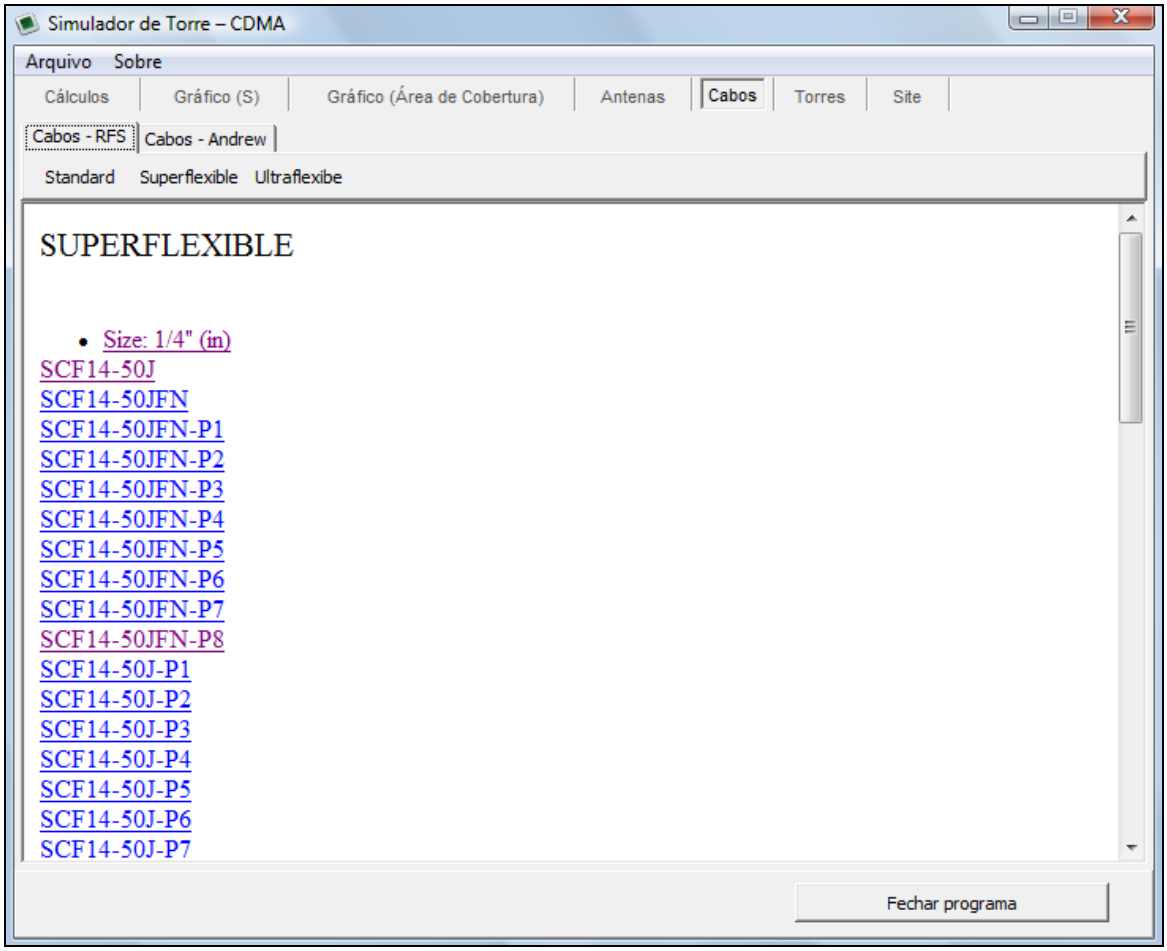


Figura 3.66 - Cabo Superflexible.

Quando posicionamos, por exemplo, o código “SCF14 – 50J” listamos o data sheet foto, tabela de atenuação versos frequência e características técnicas do cabo. A figura 3.67 ilustra o cabo SCF14-50j.

Technical Data Sheet
SCF14-50J
1/4" CELLFLEX® Superflexible Foam-Dielectric Coaxial Cable

Product Description

CELLFLEX® 1/4" superflexible cable

Application: OEM jumpers, BTS inter-cabinet connections, GPS lines

Features/Benefits

Technical Specifications

Structure			
Inner Conductor:	Copper-Clad Aluminum Wire	[mm (in)]	1.9 (0.075)
Dielectric:		[mm (in)]	4.3 (0.170)
Outer Conductor:	Corrugated Copper	[mm (in)]	6.5 (0.26)
Jacket:	Polyethylene, PE	[mm (in)]	7.8 (0.31)
Mechanical Properties			
Weight, approximately		[kg/m (lb/ft)]	0.07 (0.05)
Minimum bending radius, single bending		[mm (in)]	
Minimum bending radius, repeated bending		[mm (in)]	25 (1.0)
Bending moment		[Nm (lb-ft)]	0.7 (0.5)
Max. tensile force		[N (lb)]	600 (135)
Recommended / maximum clamp spacing		[m (ft)]	0.20 / 0.20 (0.67 / 0.67)
Electrical Properties			
Characteristic impedance		[Ω]	50 +/- 1
Relative propagation velocity		[%]	82
Capacitance		[pF/m (pF/ft)]	82.0 (25.0)
Inductance		[µH/m (µH/ft)]	0.207 (0.063)
Max. operating frequency		[GHz]	20.4
Jacket spark test RMS		[V]	5000
Peak power rating		[kW]	5.5
RF Peak voltage rating		[V]	740
DC-resistance inner conductor		[Ω/km (Ω/1000ft)]	10.40 (3.17)
DC-resistance outer conductor		[Ω/km (Ω/1000ft)]	6.60 (2.01)
Recommended Temperature Range			
Storage temperature		[°C (°F)]	-70 to +85 (-94 to +185)
Installation temperature		[°C (°F)]	-40 to +60 (-40 to +140)
Operation temperature		[°C (°F)]	-50 to +85 (-58 to +185)

1/4" CELLFLEX® Superflexible Foam Dielectric Coaxial Cable Attenuation Table

Frequency	Attenuation		Power
[MHz]	[dB/100m]	[dB/100ft]	[kW]
0.5	0.401	0.122	5.50
1.0	0.568	0.173	5.50
1.5	0.696	0.212	5.50
2.0	0.804	0.245	5.50
10	1.81	0.550	3.66
20	2.56	0.781	2.58
30	3.15	0.960	2.10
50	4.08	1.24	1.62
88	5.45	1.66	1.21
100	5.82	1.77	1.14
108	6.06	1.85	1.09
150	7.17	2.19	0.922
174	7.75	2.36	0.854
200	8.33	2.54	0.794
300	10.3	3.13	0.643
400	12.0	3.65	0.553
450	12.7	3.88	0.519
500	13.5	4.10	0.491
512	13.6	4.15	0.485
600	14.8	4.52	0.446
700	16.1	4.91	0.411
800	17.3	5.27	0.382
824	17.6	5.35	0.376
894	18.4	5.59	0.360
900	18.4	5.61	0.359
925	18.7	5.70	0.354
960	19.1	5.81	0.347
1000	19.5	5.94	0.339
1250	22.0	6.71	0.300
1500	24.3	7.41	0.272
1700	26.1	7.94	0.254
1800	26.9	8.20	0.246
2000	28.5	8.69	0.232
2100	29.3	8.93	0.226
2200	30.1	9.2	0.220
2400	31.6	9.6	0.209
3000	35.8	10.9	0.185
3500	39.1	11.9	0.169
4000	42.2	12.9	0.157
5000	48.0	14.6	0.138
6000	53.4	16.3	0.124
7000	58.6	17.8	0.113
8000	63.4	19.3	0.104
9000	68.1	20.8	0.097
10000	72.6	22.1	0.091
12000	81	24.8	0.081
14000	89	27.2	0.074
16000	97	29.6	0.068
18000	105	31.9	0.063
20000	112	34.2	0.059
20400	113	34.6	0.058

Figura 3.67 – Cabo SCF14-50J

No próximo exemplicamos os cabos do tipo “Ultraflexible”

3.7.2.3 – Cabos Ultraflexible

Quando posicionamos em Ultraflexible, listamos os respectivos códigos "Utraflexible". A figura 3.68 exemplifica os respectivos códigos.

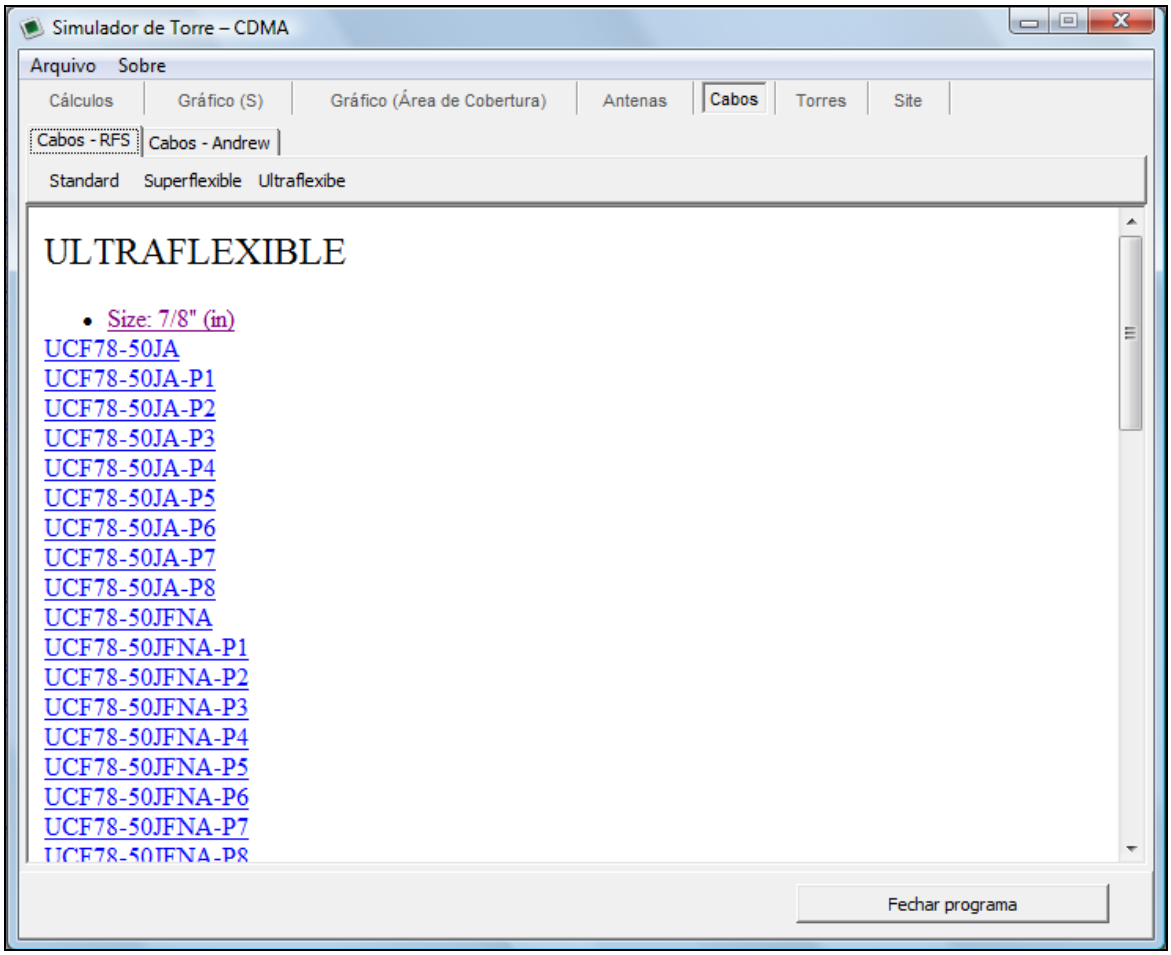


Figura 3.68 – Cabo RFS Ultraflexible

Quando posicionamos no código "UCF78 – 50JA", listamos os dados: data sheet, foto, tabela de atenuação *versus* frequência, potência, e características de construção. A figura 3.69 lista as especificações do cabo.

Technical Data Sheet
UCF78-50JA
7/8" CELLFLEX® Ultraflexible Foam-Dielectric Coaxial Cable

Product Description

Features/Benefits

Technical Specifications

Structure			
Inner Conductor:	Corrugated Copper Tube	[mm (in)]	9.5 (0.374)
Dielectric:		[mm (in)]	21.3 (0.84)
Outer Conductor:	Corrugated Copper	[mm (in)]	25.2 (0.99)
Jacket:	Polyethylene, PE	[mm (in)]	27.8 (1.09)
Mechanical Properties			
Weight, approximately		[kg/m (lb/ft)]	0.45 (0.302)
Minimum bending radius, single bending		[mm (in)]	90 (3.5)
Minimum bending radius, repeated bending		[mm (in)]	125 (5)
Bending moment		[Nm (lb-ft)]	13.0 (9.6)
Max. tensile force		[N (lb)]	1440 (324)
Recommended / maximum clamp spacing		[m (ft)]	0.8 / 1.0 (2.75 / 3.25)
Electrical Properties			
Characteristic impedance		[Ω]	50 +/- 1
Relative propagation velocity		[%]	88
Capacitanc		pF/m (pF/ft)]	76 (23.2)
Inductance		[µH/m (µH/ft)]	0.190 (0.058)
Max. operating frequency		[GHz]	4.9
Jacket spark test RMS		[V]	8000
Peak power rating		[kW]	83
RF Peak voltage rating		[V]	2880
DC-resistance inner conductor		[Ω/km (Ω/1000ft)]	3.0 (0.914)
DC-resistance outer conductor		[Ω/km (Ω/1000ft)]	1.15 (0.35)
Recommended Temperature Range			
Storage temperature		[°C (°F)]	-70 to +85 (-94 to +185)
Installation temperature		[°C (°F)]	-40 to +60 (-40 to +140)
Operation temperature		[°C °F)]	-50 to +85 (-58 to +185)

7/8" CELLFLEX® Ultra-Flexible Low-Loss Foam Dielectric Coaxial Cable
Attenuation Table

Frequency	Attenuation		Power
[MHz]	[dB/100m]	[dB/100ft]	[kW]
0.5	0.0841	0.0256	83.0
1.0	0.119	0.0363	83.0
1.5	0.146	0.0445	69.4
2.0	0.169	0.0514	60.0
10	0.379	0.116	26.7
20	0.539	0.164	18.8
30	0.66	0.202	15.3
50	0.86	0.262	11.8
88	1.15	0.351	8.80
100	1.23	0.375	8.24
108	1.28	0.390	7.91
150	1.52	0.462	6.67
174	1.64	0.500	6.17
200	1.76	0.537	5.74
300	2.18	0.665	4.64
400	2.54	0.775	3.98
450	2.71	0.826	3.74
500	2.87	0.874	3.53
512	2.90	0.885	3.49
600	3.16	0.964	3.20
700	3.44	1.05	2.94
800	3.70	1.13	2.74
824	3.76	1.15	2.69
894	3.93	1.20	2.57
900	3.94	1.20	2.57
925	4.00	1.22	2.53
960	4.09	1.25	2.48
1000	4.18	1.27	2.42
1250	4.73	1.44	2.14
1500	5.24	1.60	1.93
1700	5.62	1.71	1.80
1800	5.81	1.77	1.74
2000	6.16	1.88	1.64
2100	6.34	1.93	1.60
2200	6.51	1.98	1.55
2400	6.84	2.09	1.48
3000	7.79	2.37	1.30
3500	8.52	2.60	1.19
4000	9.22	2.81	1.10
4900	10.4	3.17	0.97

Figura 3.69 – Cabo UCF78-50JA

No próximo item mostraremos os “Cabos Andrew”.

3.7.3 – Cabos Andrew

Quando posicionamos em cabos da Andrew, apresentamos os tipos de cabos: Heliax Air Dieletric (dielétrico a ar) e Heliax Foan dieletric (dielétrico de spuma). Através da figura 3.70 mostramos os padrões de "Cabos Andrew".

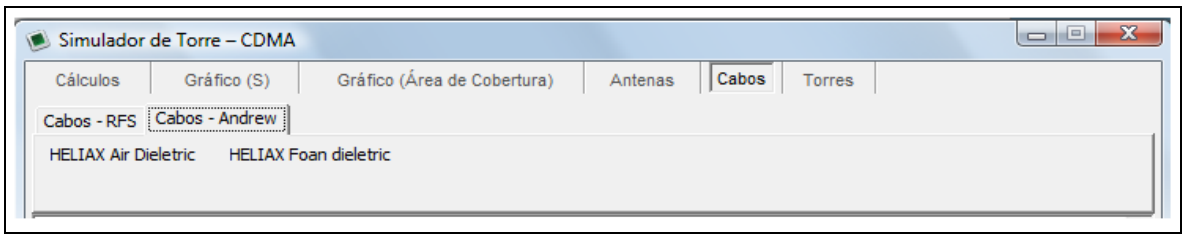


Figura 3.70 - Cabos da Andrew.

No item 3.7.3.1 abordaremos os cabos Heliax Air Dieletric.

3.7.3.1 – Cabos Heliax Air Dieletric

Quando posicionamos a opção "Coaxial Air Dieletric", listamos as características construtivas: foto, código, resumo das especificações.

Como especificações resumidas do cabo obtemos: HJ11-50 (código, heliax , impedância de 50 Ohms); Stardard Air Coaxial Cable (cabo coaxial padrão dielétrico ar); Corrugated Cooper (corrugado cobre); 4 In (quatro polegadas de diâmetro); black PE jacket (jaqueta preta).

A figura 3.71 exemplifica a opção "Coaxial Air Dieletric".

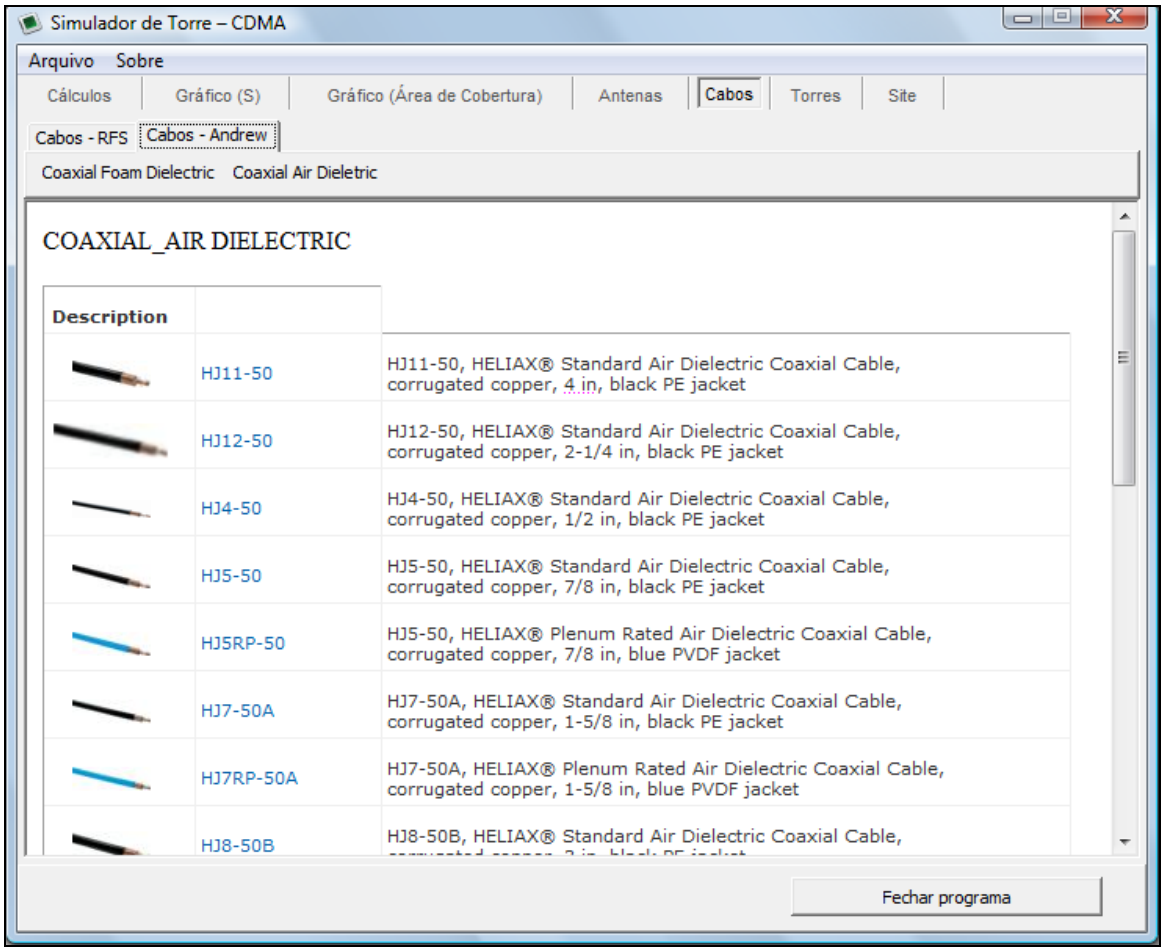


Figura 3.71 - Cabo Heliax Air Dieletric.

Quando posicionamos o código “HJ11-50”, listamos as especificações detalhadas do produto: foto, materiais de construção, dimensões, especificações elétrica, mecânicas, ambientais, condições padrões, tabela de atenuação. A figura 3.72 mostra o data sheet do cabo HJ11-50.

Construction Materials	
Jacket Material	PE
Dielectric Material	PP
Flexibility	Standard
Inner Conductor Material	Copper tube
Jacket Color	Black
Outer Conductor Material	Corrugated copper

Dimensions	
Nominal Size	4 in
Cable Volume	69.9 ft³/kft | 6493.7 L/km
Cable Weight	3.72 kg/m | 2.50 lb/ft
Diameter Over Jacket	101.600 mm | 4.000 in
Inner Conductor OD	39.370 mm | 1.550 in
Outer Conductor OD	97.536 mm | 3.840 in

Electrical Specifications	
Cable Impedance	50 ohm ±0.5 ohm
Capacitance	22 pF/ft | 72 pF/m
dc Resistance, Inner Conductor	0.361 ohms/km | 0.110 ohms/kft
dc Resistance, Outer Conductor	0.131 ohms/km | 0.040 ohms/kft
dc Test Voltage	21000 V
Inductance	1.870 µH/m | 0.570 µH/ft
Insulation Resistance	100000 mOhm
Jacket Spark Test Voltage (rms)	10000 V
Operating Frequency Band	1 – 1000 MHz
Peak Power	1100.0 kW
Power Attenuation	7.485
Velocity	92%

requency (MHz)	Attenuation (dB/100 m)	Attenuation (dB/100 ft)	Average Power (kW)
0.5	0.023	0.007	1048.73
1	0.033	0.01	738.97
1.5	0.041	0.012	601.75
2	0.047	0.014	519.96
10	0.108	0.033	227.80
20	0.155	0.047	158.66
30	0.192	0.058	128.07
50	0.252	0.077	97.44
88	0.343	0.105	71.61
100	0.368	0.112	66.72
108	0.384	0.117	63.93
150	0.462	0.141	53.19
174	0.502	0.153	48.90
200	0.544	0.166	45.16
300	0.688	0.21	35.70
400	0.816	0.249	30.11
450	0.875	0.267	28.06
500	0.933	0.284	26.33
512	0.946	0.288	25.95
600	1.043	0.318	23.56
700	1.147	0.349	21.42
800	1.246	0.38	19.70
824	1.27	0.387	19.34
894	1.337	0.407	18.37
960	1.399	0.426	17.56
1000	1.435	0.437	17.11

Figura 3.72 – Cabo HJ11-50

No item 3.7.3.2 abordaremos os Cabos Heliax Foam Dieletic.

3.7.3.2 – Cabos Heliax Foam Dieletric

Quando posicionamos em **“**Heliax Air Dieletric”, temos acesso ao código do cabo e às especificações resumidas do mesmo. Por exemplo, quando optamos pelo AL5-50, temos a descrição resumida: foto, código, (low loss flexible aluminum coaxial cable) cabo coaxial alumínio de baixa perda, (7/8 in) diâmetro 7/8 de polegada, (black PE jacket) capa externa preta. A figura 3.73 mostra os Cabos Heliax Foam Dieletric

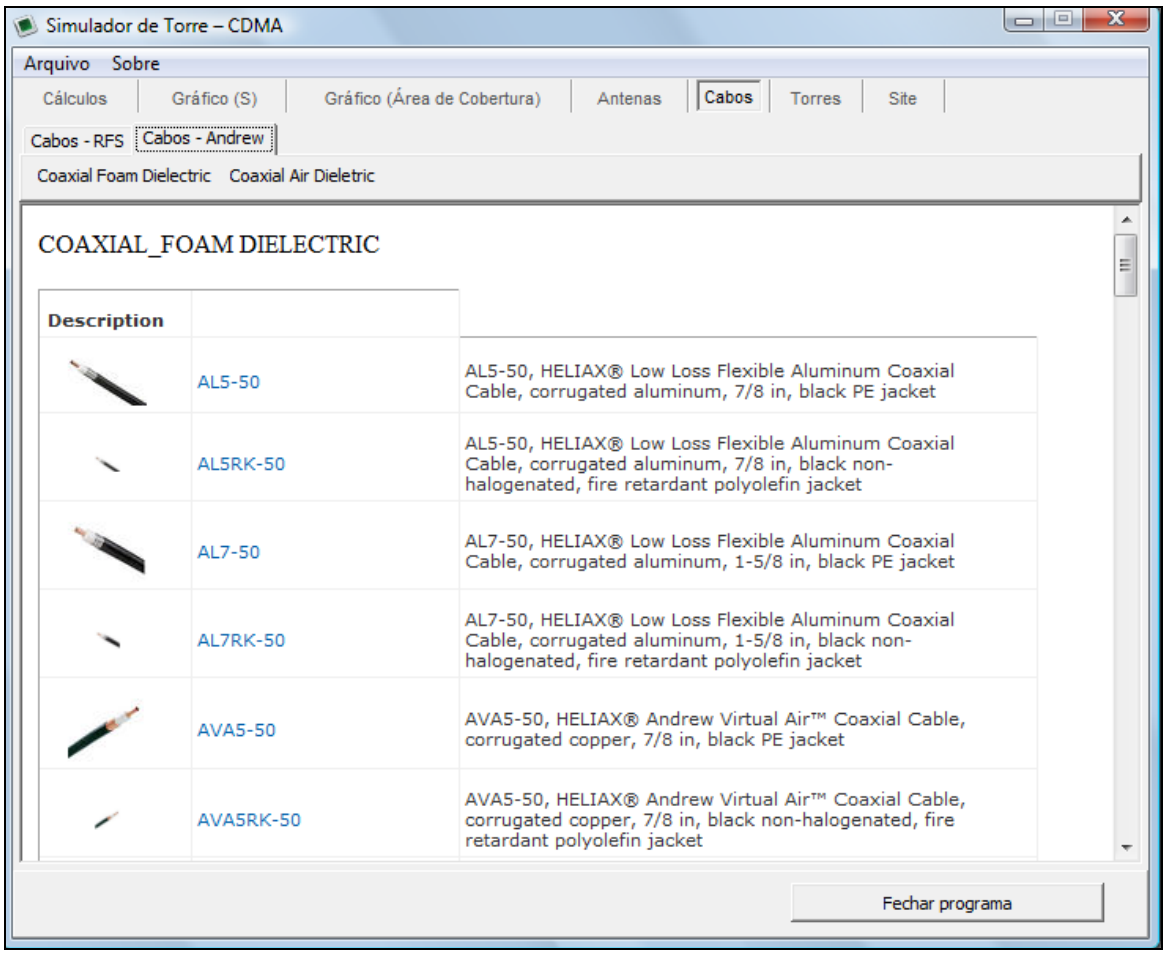


Figura 3.73 - Cabos Heliax Foam Dieletric

Quando posicionamos o campo “Heliax Foam Dieletric”, temos: o código do cabo e as especificações detalhadas do mesmo. A figura 3.74 descreve o data sheet do produto.

Electrical Specifications	
Cable Impedance	50 ohm ±1 ohm
Capacitance	22 pF/ft | 72 pF/m
dc Resistance, Inner Conductor	0.410 ohms/kft | 1.435 ohms/km
dc Resistance, Outer Conductor	0.500 ohms/kft | 1.641 ohms/km
dc Test Voltage	6000 V
Inductance	0.184 µH/m | 0.056 µH/ft
Insulation Resistance	100000 MOhm
Jacket Spark Test Voltage (rms)	8000 V
Operating Frequency Band	1 – 5000 MHz
Peak Power	91.0 kW
Pulse Reflection	0.5%
Velocity	91%

Return Loss

Frequency Band	VSWR	Return Loss (dB)
806–960 MHz	1.13	24.30
1700–2000 MHz	1.13	24.30

Frequency (MHz)	Attenuation (dB/100 m)	Attenuation (dB/100 ft)	Average Power (kW)
0.5	0.085	0.026	91.00
1	0.12	0.037	64.46
1.5	0.147	0.045	52.60
2	0.17	0.052	45.53
10	0.382	0.117	20.25
20	0.543	0.165	14.27
30	0.667	0.203	11.61
50	0.865	0.264	8.95
88	1.155	0.352	6.70
100	1.234	0.376	6.28
108	1.284	0.391	6.03
150	1.521	0.464	5.09
174	1.642	0.501	4.71
200	1.766	0.538	4.39
300	2.183	0.665	3.55
400	2.539	0.774	3.05
450	2.703	0.824	2.86
500	2.858	0.871	2.71
512	2.895	0.882	2.68
600	3.15	0.96	2.46
700	3.421	1.043	2.26
800	3.676	1.12	2.11
824	3.735	1.138	2.07
894	3.903	1.19	1.98
960	4.057	1.237	1.91
1000	4.148	1.264	1.87
1250	4.685	1.428	1.65
1500	5.18	1.579	1.49
1700	5.551	1.692	1.39
1800	5.73	1.747	1.35
2000	6.077	1.852	1.27

Figura 3.74 – Cabo Heliax Foam Dieletric - AL5-50

No item 3.8 exemplificaremos os tipos de torres empregadas na telefonia móvel celular.

3.8 – Torres

Ainda com o desejo de deixar o simulador mais real possível, inserimos um item designado “Torres”, através do qual podemos caracterizar os tipos de torres empregadas em uma localidade.

Quando posicionamos o campo “Torres”, temos acesso à lista dos tipos de infraestrutura: poste, torres fixas, torres móveis e estruturas camufladas, roof-top (cavale em estrutura metálica instalada no topo de um edificio onde fixamos o sistema irradiante). A figura 3.75 ilusstra os tipos de infraestrutura em forma cilíndrica (postes).

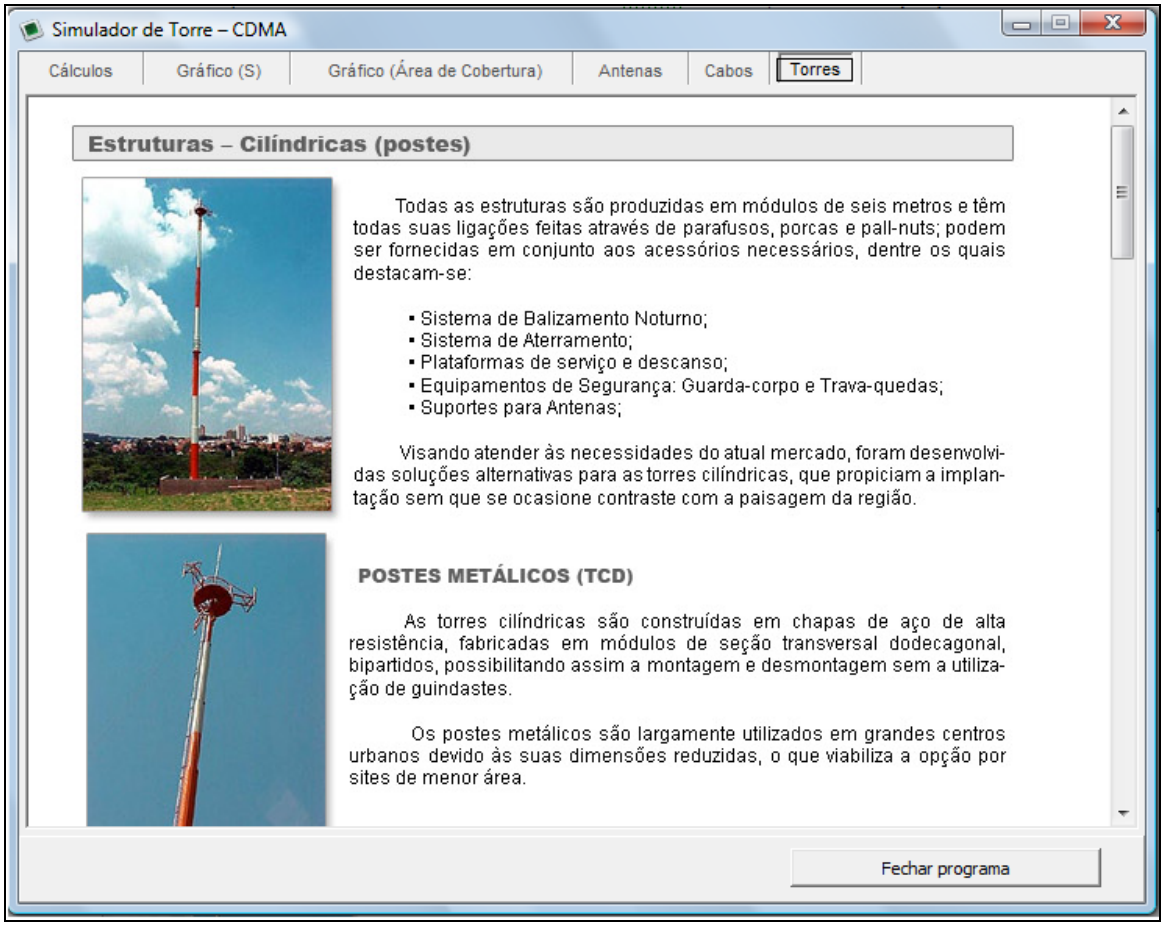


Figura 3.75 – Estrutura cilíndrica (poste).

No item 3.9 faremos uma abordagem dos sites instalados no Brasil, onde encontraremos as localidade distribuídas por: estado, cidade, endereço e coordenadas geográficas bem como os órgãos prestadores de serviço móvel celular (Operadoras).

3.9 – Site

3.9.1 - Introdução

Para garantir a atualização do simulador, acrescentamos um item designado “Site” onde são encontradas as localidades servidas por ERBs no Brasil. Este campo é de grande importância para avaliarmos a quantidade de ERBs instaladas no território nacional bem como certificarmos o seu licenciamento e compartilhamento através do Órgão regulamentador (Anatel). Designamos como site compartilhado aquela localidade onde duas ou mais operadores de serviços de telefonia móvel (Operadoras) dividem a infraestrutura (torre, cabine, local) para distribuirem os serviços. Salientamos que, para manter os dados atualizados e seguros, não criamos nenhum banco de dados; todas as informações são acessadas on line através da Internet.

Quando posicionamos o campo “*Site*”, fechamos um *link* com a Anatel, através do qual listaremos todos os “Sites” instalados dentro da cobertura nacional.

A figura 3.76 a exemplifica o campo “Site”.

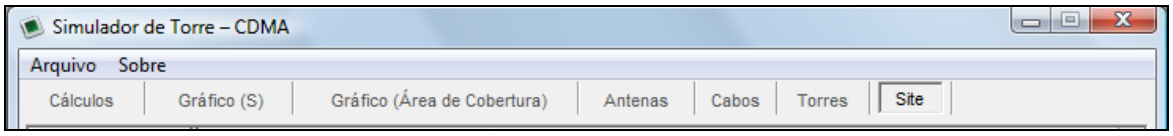


Figura 3.76 – Site

3.9.2 – Relatório das Estações por Localidade

Apresentamos um relatório das ERBs por Localidade, no qual preenchemos os campos: UF, Nome do Município, Bairro, Logradouro e posicionamos em “Confirmar”. Para limparmos os dados inseridos, posicionamos em “Limpar Campos”. A figura 3.77 detalha o formato do campo “Relatórios das Estações por Localidades” cujos resultados dependem do Preenchimento dos Dados.

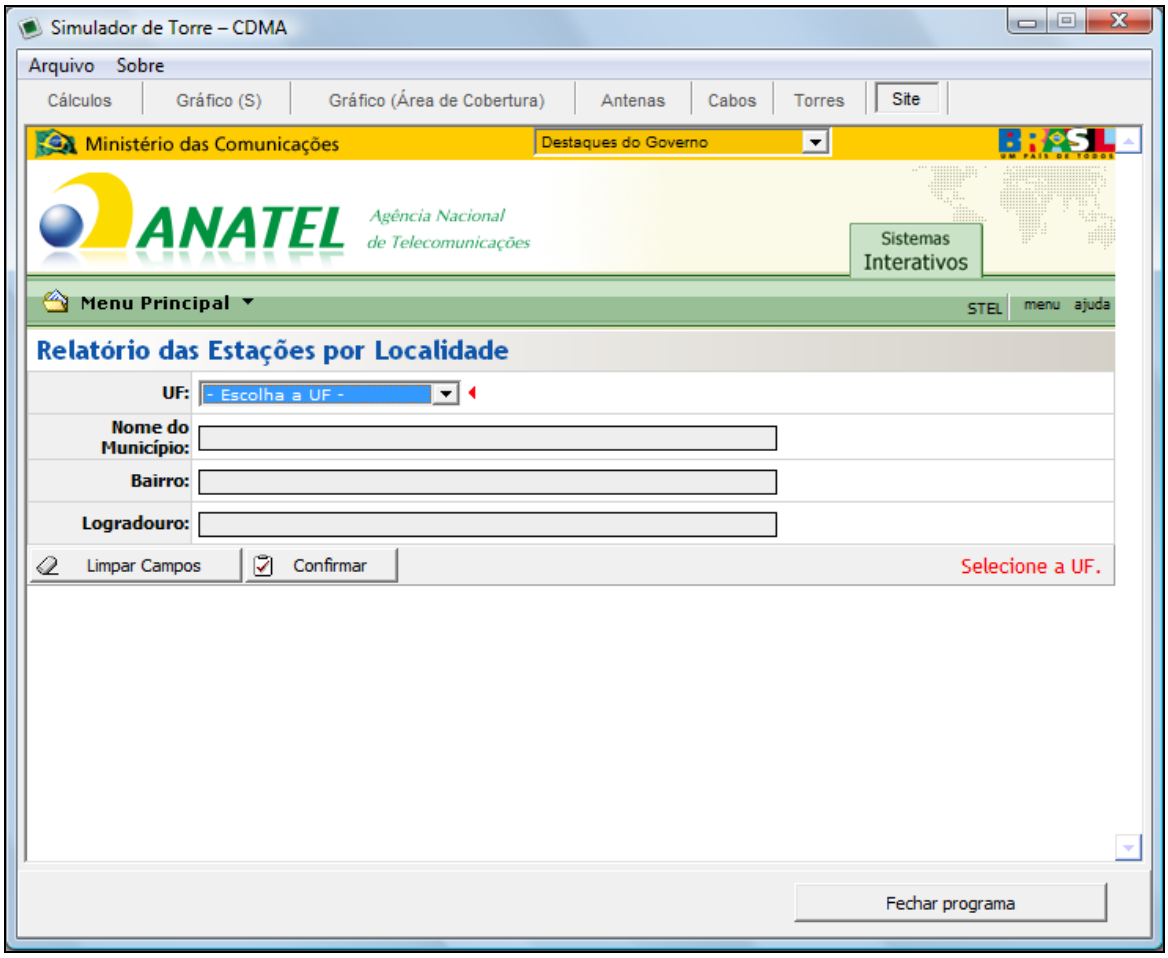


Figura 3.77 – Relatório das Estações por Localidade.

Por exemplo, quando preenchemos a UF como MG e município de Uberlândia, constatamos que existem cinco Operadoras de Telecomunicações em Uberlândia: Claro S.A., CTBC Celular S.A., Telemig Celular S.A, TIM Nordeste S.A., TNL PCS S.A. Encontramos no muncipio de Uberlândia 237

ERBs instaladas até o dia 10/07/2009 às 22:04:28 horas. Podemos imprimir este relatório e exportar para uma planilha excel. A figura3.78 exemplifica os resultados.

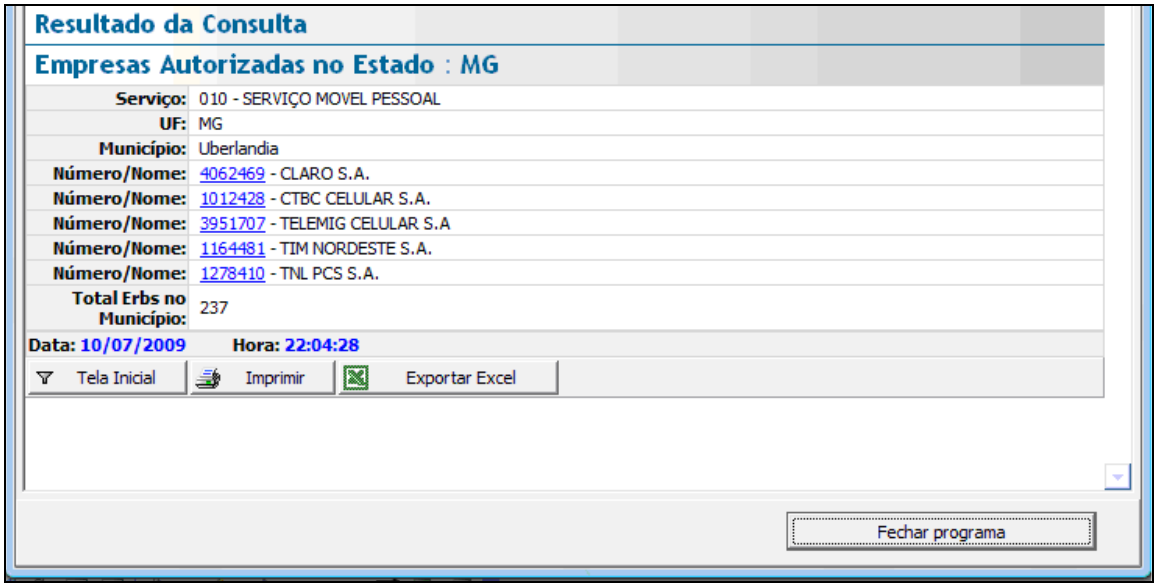
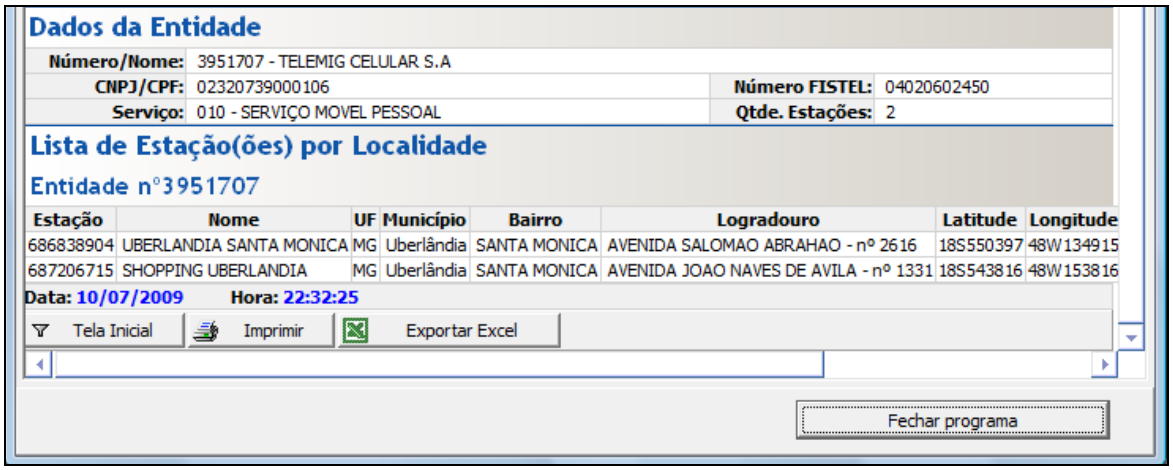


Figura 3.78 – Número de ERBs em Uberlândia.

É possível também listar todas as ERBs de um bairro de um determinado município. Por exemplo, inserimos os dados UF (MG), Município (Uberlândia), Bairro (Santa Monica) e obteremos como resultado cinco Operadoras de Telecomunicações: Claro S.A., CTBC Celular S.A., Telemig Celular S.A, TIM Nordeste S.A., TNL PCS S.A. Encontramos 14 ERBs no dia 10/07/2009 às 22:27:36 horas. Vide Figura 3.79 mostra o "Resultado da Consulta".

Figura 3.79 – ERBs no Bairro de Santa Monica.

Quando posicionamos na Operadora de Telecomunicações “**Telemig Celular**”, temos os resultados: “**Dados da Entidade**”, tais como Número/Nome, CNPJ/CPF, Serviço, Número FISTEL, Quantidade de Estações (2); **“Lista de Estação por Localidade**”, como Entidade, Estação, Nome, UF, Município, Bairro, Logradouro, Latitude, Longitude, Data do Cadastro, Data da 1.o Licença, Última Licença. Podemos imprimir ‘Dados da Entidade” bem como exportar as informações para excel. A figura 3.80 mostra os “Dados da Entidade”.



Bairro	Logradouro	Latitude	Longitude	Data Cadastro	Data 1º Lic.	Última Licença
SANTA MONICA	AVENIDA SALOMAO ABRAHAO - nº 2616	18S550397	48W134915	05/05/2005	23/05/2005	20/03/2009
SANTA MONICA	AVENIDA JOAO NAVES DE AVILA - nº 1331	18S543816	48W153816	14/06/2005	27/09/2005	20/03/2009

Figura 3.80 – Dados da Entidade.

Com o propósito de familiarizarmos com o equacionamento, estamos exemplificando um “simulado” no sentido de validar os resultados no simulador.

3.10 – Simulado

Cálculos

Dados da Estação Rádio Base.

- Potência fornecida pelo canal de rádio: Pt = 10 (W) = 40 (dBm)
- Número de canais de rádio por setor: N (canais) = 30
- Distância do ponto de medição à torre: d = 30 (m)

- Perda no cabo: cabo 7/8'' heliflex C = 3,71 (dB) a cada 100 metros na frequência 894 (MHz)
- Ganho da antena de transmissão: Gt = 12 (dBd)
- Frequência de operação: f = 894 (MHz)
- Atenuação em direção ao lóbulo principal da antena ($A_{ten.\ dir}$) = 0 (dB)
- Altura da antena A = 60 (m)
- Inclinação da antena em relação ao solo (Tilt): T = 2 (graus)
- Tensão 2 (V)
- Potência 1 (W)
- Carateristicas Elétrica: cabo e antena [5.5]

ALE866513-42T0

Horizontal Beamwidth, deg 65
Gain, dBi 15.1
Electrical Downtilt, deg 0-14

ELECTRICAL SPECIFICATIONS	
Frequency Range, MHz	806-894
Horizontal Beamwidth, deg	65
Vertical Beamwidth, deg	17
Gain, dBi (dBd)	15.1 (13)
Front-To-Back Ratio, dB	40
VSWR	< 1.5:1
Maximum Power Input, W	500
Polarization	Vertical
3rd Order IMP @ 16 x 41 dBm, dBm	< -100

HCA78-50J/JB/JPL ATTENUATION AND AVERAGE POWER

Frequency MHz	Attenuation dB/100 m	Attenuation dB/100 ft	Average Power kW
0.5	0.0813	0.0248	73.0
1.0	0.115	0.0351	73.0
1.5	0.141	0.0430	70.9
2.0	0.163	0.0497	61.4
10	0.366	0.112	27.3
20	0.520	0.158	19.3
30	0.638	0.194	15.7
50	0.827	0.252	12.1
88	1.10	0.337	9.07
100	1.18	0.359	8.50
108	1.23	0.374	8.17
150	1.45	0.443	6.91
174	1.57	0.478	6.40
200	1.69	0.514	5.96
300	2.08	0.634	4.83
400	2.42	0.738	4.17
450	2.57	0.785	3.92
500	2.72	0.830	3.71
512	2.76	0.840	3.67
600	3.00	0.914	3.38
700	3.25	0.992	3.12
800	3.49	1.07	2.91
824	3.55	1.08	2.86
894	3.71	1.13	2.74
900	3.72	1.13	2.73
925	3.78	1.15	2.70
960	3.85	1.17	2.64
1000	3.94	1.20	2.59
1250	4.45	1.36	2.31
1500	4.91	1.50	2.10
1800	5.43	1.65	1.91
2000	5.75	1.75	1.81
2200	6.07	1.85	1.72
2300	6.22	1.90	1.68
3000	7.22	2.20	1.47

Resolução

3.10.1 – Potência radiada efetiva (ERP_N) dBm

$$ERPN = 10\log N + Pt + Gt \quad (dBm)$$

= 10 .log 30 + 40 + 15

ERP_N = 69,77 (dBm)

3.10.2– Potência radiada efetiva (ERP_N) W

$$ERPN = 10^{ERP/10}10^{-3} \quad (W)$$

$$ERPN = 10^{69,77/10} 10^{-3}$$

$$ERPN = 9.484,18 \quad (W)$$

3.10.3 – Densidade de potência no setor com reflexão (Ss) dBm

Ss = ERPN + 10. Log . 2,56 – C – Aten.dir – 10 log. 4π – 20. log d (dBm)

Ss = 69,77 + 10.log 2,56 – 3,71 – 0 + 10.log 4π – 20 log 30

Ss = 29,61 (dBm)

A figura 3.81 mostra o lóbulo principal de uma antena que definimos como "atenuação dir", em função do afastamento do angulo "θ".

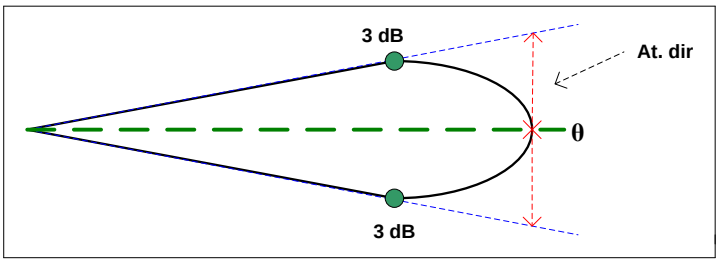


Figura 3.81 – Atenuação Dir.

3.10.4 - Densidade de potência no setor sem reflexão (Ss) dBm

Ss = ERPN – C – Aten.dir – 10 log. 4π – 20. log d

Ss = 69,77 – 3,71 – 0 + 10.log 4π – 20 log 30

Ss = 25,53 (dBm)

3.10.5 – Densidade de potência no setor com reflexão (Ss) W/m^2

$$Ss = 10^{Ss/10}.10^{-3} \quad (W/m^2)$$

$$Ss = 10^{29,61/10}.10^{-3}$$

$$Ss = 0,914$$

Ss = 0,914 x 10^{-3} / 10^{+4} = 0,0914

Ss = 0,914 x 10^{-6} / 10^{+4} = 0,00914 $(\mu W/cm^2)$

3.10.6 – Densidade de potência no setor sem reflexão (Ss) W/m^2

$Ss = 10^{Ss(dBm)/10}.10^{-3}$ (W/m^2)

$Ss = 10^{25,53/10}.10^{-3}$

Ss = 0,35

Ss = 0,35 x 10^{-3} / 10^{+4} = 0,035

Ss = 0,35 x 10^{-6} / 10^{+4} = 0,0035 $(\mu W/cm^2)$

3.10.7 - Distância mínima (r) m

$r = 8,16.\sqrt{ERPN\ /f(MHz)}$ (m)

$r = 8,16.\sqrt{9.484\ /\ 894}$

$r = 26,57$ (m)

3.10.8 – Campo elétrico no setor com reflexão (Es) V/m

$Es = \sqrt{377\ .\ Ss}$ (V/m)

$Es = \sqrt{377\ .\ 0,914}$

$Es = \sqrt{377\ .\ 0,914}$

Es = 18,56 (V/m)

Es = 18,56 x 10^{-3}/ 10^{2} = 1,856 (mV/cm)

Es = 18,56 x 10^{-6} / 10^{2} = 0,0019 (µV/cm)

3.10.9 – Campo elétrico no setor sem reflexão (Es) V/m

$Es = \sqrt{377 \,.\, Ss}$ (V/m)

$Es = \sqrt{377 \,.\, 0{,}35)}$

$Es = 11{,}60$ (V/m)

Es = 11,60 x 10^{-3}/ 10^{2} = 1,16 (mV/m)

Es = 11,60 x 10^{-6}/ 10^{2} = 0,0016 (μV/cm)

3.10.10 – Valores permissíveis:

Δf (MHz): 869 à 894

3.10.11 – Campo elétrico para exposição máxima permissível E EMP (V/m)

E EMP = $1{,}37\sqrt{f}$ (V/m)

E EMP = $1{,}37 \,.\sqrt{894}$

E EMP = $40{,}96$ (V/m)

E EMP = $40{,}96$ x 10^{-3} / 10^{2} = 4,096 (mV/cm)

E EMP = $40{,}96$ x 10^{-6} / 10^{2} = 0,0041 (μV/m)

3.10.12 - Densidade de potência para exposição máx. perm. SEMP (W/m^2)

SEMP = f / 200 (W/m^2)

SEMP = 894 / 200

SEMP = 4,47 (W/m^2)

SEMP = 4,47 x 10^{-3} / 10^{4} = 0,447 (mW/cm^2)

SEMP = 4,47 x 10^{-6} / 10^{4} = 0,0044 ($\mu W/cm^2$)

3.10.13 - Campo magnético H (A/m)

H = 0,0037 . $\sqrt{f}$ (A/m)

H = 0,0037 . $\sqrt{894}$

H = 0,11 (A/m)

3.10.14 – Densidade de fluxo magnético B (μT)

$$B = \sqrt{0{,}0046 \,.f} \quad (\mu T)$$

$$B = \sqrt{0{,}0046\ (894)}$$

$$B = 2{,}02 \quad (\mu T)$$

3.10.15 – Área de cobertura (m)

- ✓ Ângulo de inclinação (tilt) β = 2 (graus)
- ✓ Altura da antena h = 60 (m)
- ✓ Distância da antena na horizontal d' = 1718,18 (m)
- ✓ Distância da antena com a inclinação d = 1719,22 (m)

A figura 3.82 mostra o ângulo de inclinação "β" responsável pela área de cobertura em um site de ERB.

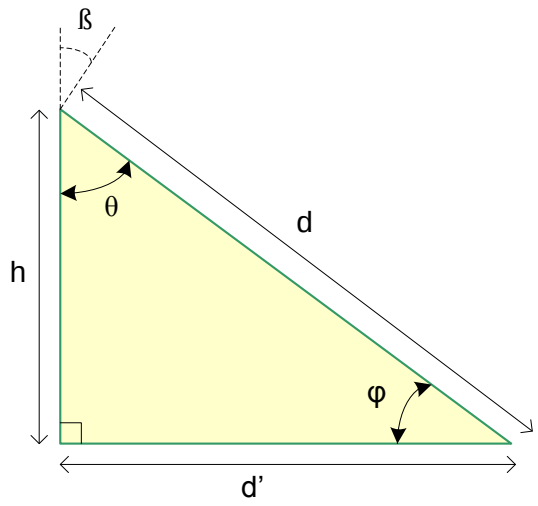


Figura 3.82 - Angulo de inclinação "β"

3.10.16 - Conversões

3.10.16.1 - Ganho da antena "G" (dBi)

G = 2,15 + dBd (dBi)

G = 2,15 + 12 = 14,15 (dbi)

3.10.16.2 – Ganho "dBµV"

dBµV = 20.log V / 10^{-6}

dBµV = 20 log 2 / 10^{-6}

dBµV = 246

3.10.16.3 – Ganho "G" em (dBm)

$$dBm = 10.log\frac{P}{10^{-3}}$$

$$dBm = 10.log\frac{1}{10^{-3}}$$

$$dBm = 30$$

3.11 – Considerações finais do capítulo

Neste capítulo tratamos da construção do simulador -1, responsável pela criação de cálculos, gráficos e área de cobertura da célula para a medição dos valores de rádio propagação emitidos pela telefonia móvel.

Procuramos descrever, passo a passo, todas as etapas necessárias para a operação do simulador 1, de modo a facilitar a compreensão da metodologia adotada e dos caminhos que o usuário deve trilhar para obter os resultados da medição dos valores de rádio propagação.

CAPÍTULO 4

SIMULADOR - 2

4.1 - Introdução

Com o objetivo de nos aproximarmos dos valores mais reais possíveis e facilitar a compreensão dos resultados apresentados, criamos outro simulador de predição, onde inserimos um número maior de variáveis no modelo de propagação em um ambiente real, tendo em vista que, por exemplo, em uma área urbana encontramos obstruções tais como: prédios, casas, árvores, estruturas metálicas, aeroportos, áreas portuárias que atenuam os sinais de rádio. Deparamo-nos também com pontos de reflexão do sinal de rádio frequência como, por exemplo, água, superfície da terra, edificações. Com a inserção de mais parâmetros em nossos cálculos, não desconsiderando as obstruções, absorções, difrações e reflexão do sinal de rádio, nos aproximamos de um sistema de propagação real cujos resultados serão de maior utilidade para os usuários.

No item a seguir abordaremos o conceito radiação isotrópica.

4.2 - Radiação Isotrópica

Uma antena isotrópica irradia igualmente em todas as direções. Essa antena não existe e, assim, todas as antenas práticas têm associadas alguma diretividade. A antena isotrópica é uma referência comparativa para as outras antenas, sendo útil na explicação de fundamentos. Considere uma fonte

isotrópica que irradia a potência Pt (em watts) igualmente em todas as direções. A figura 4.83 a seguir ilustra uma radiação isotrópica. [1.16]

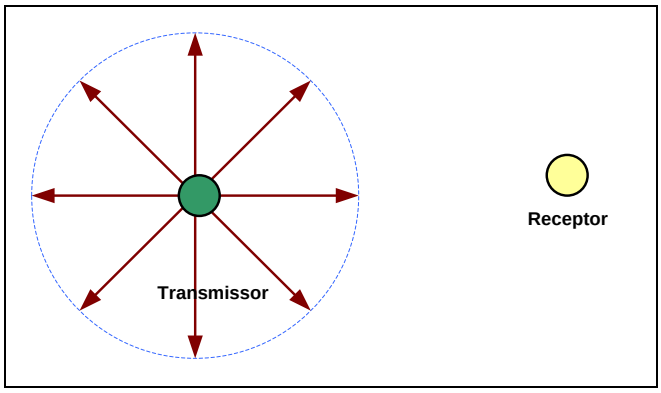


Figura 4.83 – Radiação Isotrópica

A potência por unidade de área ou densidade de potência (ρ) radiada na superfície de uma esfera de raio R centrada na fonte é dada por [1.16]

$$\rho = \frac{Pt\,.Gt}{4.\pi.R^2} \quad \left(\frac{W}{m^2}\right) \qquad (4.1)$$

onde $4\pi R^2$ é a área da superfície da esfera e Pt é a potência do canal de rádio. A unidade típica de densidade de potência radiada é o Watts por metro quadrado.

Definimos como comprimento de uma onda eletromagnética λ a relação da velocidade da luz V (3.10^8 m) sobre a frequência f em operação é dada por [1.16]

$$\boldsymbol{\lambda = \frac{v}{f} \quad (m) \qquad (4.2)}$$

O princípio da reciprocidade tem bases firmadas nas equações Maxwell da teoria eletromagnética. Isso nos leva a concluir que os ganhos de potência das antenas transmissoras e receptoras são iguais. Partindo da reciprocidade, podemos definir a área efetiva como:

$$Ae = \frac{Gr\,.\lambda^2}{4.\pi} \quad (m^2) \qquad (4.3)$$

A potência Pr recebida pela antena receptora depende do tamanho e da orientação da antena relativamente ao transmissor. A potência recebida por uma antena de área efetiva ou seção reta de absorção Ae é dada por [1.16]

$$\mathrm{Pr} = \rho\, Ae = Pt.Gt.Gr.\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (W) \qquad (4.4)$$

A área física da antena (A) e a sua área efetiva (Ae) estão relacionadas através da eficiência da antena η [1.10]

$$\eta = \frac{Ae}{A} \qquad (4.5)$$

Esse parâmetro indica o quanto uma antena converte a radiação eletromagnética incidente no sinal elétrico correspondente. A partir de pontos afastados da antena isotrópica, observa-se que o transmissor assume a forma pontual. Contudo, partindo da teoria eletromagnética, notamos que a área efetiva de uma antena isotrópica em qualquer direção é dada por [1.10]

$$Aiso = \frac{\lambda^2}{4\pi} \qquad (m^2) \qquad (4.6)$$

onde λ é definido como comprimento de onda da radiação. Substituindo a equação 4.4 na equação 4.2, obteremos a seguinte relação entre potência transmitida e recebida por antenas isotrópicas: [1.10]

$$\mathrm{Pr} = \frac{Pt}{\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2} = \frac{Pt}{Lp} \quad (W) \qquad (4.7)$$

Nesta equação, a perda do percurso ou caminho é definida como

$$Lp = (4\pi R/\lambda)^2 \quad (dB) \qquad (4.8)$$

A quantidade L_p é definida com a perda no espaço livre entre duas antenas isotrópicas. Essa definição de perda do percurso depende, surpreendentemente, do comprimento de onda irradiado e consequentemente da dependência da área efetiva de uma antena isotrópica com o comprimento de onda. [1.10]

No item a seguir comentaremos a radiação direcional.

4.3 – Radiação Direcional

Enquanto a radiação isotrópica é um útil instrumento teórico ilustrativo, na prática a, maioria das antenas não é isotrópica. Elas possuem um ganho ou diretividade G (θ Ø) que é uma função do ângulo azimutal θ e do ângulo de elevação Ø. [1.10]

Medimos o ângulo azimutal θ no plano horizontal da antena relativamente à direção horizontal de referência. A direção de referência poderia, por exemplo, ser medida relativamente ao norte. [1.10]

O ângulo de elevação Ø é medido na direção vertical, acima do plano horizontal.

Para a mesma potência transmitida, o ganho de uma antena é definido como

$$Gt(\emptyset, \rho) = \frac{Densidade\ de\ potencia\ na\ direção\ (\theta,\ \rho)}{Densidade\ de\ potencia\ de\ uma\ antena\ isotropica} \qquad (4.9)$$

Com essa definição, o ganho de potência de uma antena isotrópica transmissora é unitário.

A expressão correspondente para o ganho de potência de uma antena receptora é dada por

$$Gr\,(\emptyset, \rho) = \frac{\text{Área efetiva na direção } (\theta\rho)}{\text{Área efetiva de uma antena isotrópica}} \quad (W) \qquad (4.10)$$

As equações 4.9 e 4.10 definem o ganho de potência das antenas transmissora e receptora, respectivamente. Como na maioria das comunicações a comunicação é bidirecional a mesma antena é utilizada frequentemente tanto para transmitir quanto para receber. O princípio da reciprocidade tem bases firmadas nas equações Maxwell. Isso implica que, se a direção de propagação for invertida, a energia transportada pela onda radiada deve seguir exatamente o mesmo percurso e sofrer exatamente os mesmos efeitos, só que na direção inversa. Isso nos leva a concluir que os ganhos de potência das antenas transmissora e receptoras são iguais. [1.10]

Partindo do princípio da reciprocidade e da equação 4.9, o ganho máximo de transmissão ou de recepção de uma antena, em qualquer direção, é expresso por:

$$G = \frac{4.\pi}{\lambda^2} \,.\, Ae \quad (W) \qquad (4.11)$$

No item a seguir abordaremos o modelo clássico de perdas do sinal de uma onda eletromagnética no espaço livre.

4.4 – Perda no espaço livre

Quando utilizamos antenas não isotrópicas, relacionamos as perdas no espaço livre à potência transmitida e recebida por antenas genéricas através da substituição direta das definições dos ganhos dados pelas equações 4.9 e 4.10 na equação 4.7 onde obteremos. [1.10]

$$\mathbf{Pr} = \frac{Pt.Gt.Gr}{Lp} \quad (W) \qquad (4.12)$$

A equação 12 é conhecida normalmente como equação de Friis. Podemos simplesmente simplificá-la, escrevendo em termos do ganho em decibel [1.10]

$$\mathbf{Pr} = Pt + Gr + Gt - Lp \quad (dB) \qquad (4.13)$$

onde X (dB) = 10 log 10 (X). Esta equação é fundamental para o planejamento de rádio enlace. Ela relaciona as potências recebidas e transmitidas, levando em consideração as características de transmissão do enlace rádio. [1.10]

Podemos escrever a perda no espaço livre (L_p) como

$$Lp = 10.\log[(\frac{4\pi d}{\lambda})'2] \quad (dB) \qquad (2.14)$$

$$Lp = 32,44 + 20.\log\ (f) + \ 20.\log\ (d) \quad (dB) \qquad (4.15)$$

a frequência de operação é dada em MHz e a distância do rádio enlace é expressa em km.

No item a seguir apresentaremos um modelo de propagação de sinal de rádio terra-móvel baseado em medições empíricas.

4.5 – Modelo de Propagação - A

4.5.1 - Introdução

Os modelos de predição são baseados em dados experimentais e extensivo em análises estatísticas, de que lançamos mão para computar o nível de sinal recebido e dar a propagação média. Comercialmente, muitas ferramentas de predição computacional são disponíveis baseadas neste modelo.

O uso e a precisão dos modelos de predição dependem principalmente do ambiente de propagação. O modelo de Okumura-Hata apresenta boas aproximações em ambientes urbano e suburbano. A melhor aplicação deste modelo acontece na faixa de frequência compreendida entre 150 MHz e 2 GHz.

Os dados originais foram medidos por Okumura e outros em diversas áreas do Japão. Muitos gráficos foram criados ilustrando vários fatores que afetam a propagação terra-móvel incluindo as características das construções e a altura de antena. Hata forneceu mais tarde aproximações analíticas para esses tipos de dados que tratavam a maioria desses efeitos. [1.10]

O modelo Okumura-Hata prediz a perda do percurso médio em três tipos de meios: urbano, suburbano e aberto. As perdas do percurso médio (em dB) para esses três tipos de meios são dadas pelas equações.

No item a seguir abordaremos o modelo para áreas urbanas.

4.5.2 – Modelo para área urbana

Entendemos como áreas urbanas, os locais onde os sinais de rádio frequência podem sofrer absorção, reflexão e obstrução, tendo como conseqüência uma área de cobertura do sistema móvel celular ineficiente (área de sombra), não possibilitando a conexão da chamada ou perda da mesma e o resultado é a degradação do serviço. Este modelo favorece a percepção dos efeitos da difração, da reflexão e da dispersão causadas pela estrutura da cidade. Este modelo é apropriado para ligações ponto-a-ponto e difusão de transmissões e é baseado em extensas medidas empíricas tomadas. [1.10]

Este modelo foi baseado em dados experimentais coletados em vários ambientes urbanos. A área urbana em estudo 15% de construção de verticalização (prédios). [1.10]

A fórmula geral do modelo da perda do sinal de rádio frequência no caminho é dado por.

$$L_p = C_1 + C_2 \log(f) - 13{,}82 \log(h_b) - a(h_m) + [44{,}9 - 6{,}55 \log(h_b)] \log(d) + C_o \quad (dB) \qquad (4.16)$$

onde

Lp = perda no caminho, dB

f = frequência, MHz

d = distância entre a estação rádio base e o móvel, km (1km < d < 20 km)

h_b = altura da estação rádio base (altura da antena), m (30 m < h_b < 200 m)

a (h_m) = constante de aproximação da altura do móvel, dB

a(hm) = {1,1 . log.(f) – 0,7}.hm – {1,56.log.(f) – 0,8} (dB) (4.17)

h_m = altura da antena do móvel, m (1 m < hm < 10 m)

C_1 = correção do sinal de RF em função da frequência, dB

= 69,55 entre 150 MHz ≤ f ≤ 1000 MHz

= 46,3 entre 1500 MHz ≤ f ≤ 2000 MHz

C_2 = correção do sinal de RF em função da frequência, dB

= 26,16 entre 150 MHz ≤ f ≤ 1000 MHz

= 33,9 entre 1500 MHz ≤ f ≤ 2000 MHz

C_0 = 0 para área urbana

Inserindo a expressão (4.17) em (4.16) obtemos

$$Lp\,u = C1 + C2.log.(f) - 13{,}82.log.(hb) - \{1{,}1.log.(f) - 0{,}7\}.h - \{1{,}56.log.(f) - 0{,}8\} + [44{,}9 - 6{,}55.log.(hb)].log.(d) + Co \quad (dB) \quad (4.18)$$

No item a seguir abordaremos um modelo para áreas densas.

4.5.3 – Modelo para área urbana densa

No modelo para área do tipo urbana densa temos que levar em consideração a verticalização através de áreas construídas (prédios), visto que as perdas são maiores na área urbana e a degradação do sinal de RF é mais

acentuada em função do maior número de obstruções, reflexões e difração no percurso do sinal de rádio. Sendo assim, teremos as perdas mais altas no percurso e conseqüentemente teremos nível de sinal calculado mais baixo em conseqüência da trajetória do sinal de rádio. A seguir apresentaremos o modelo matemático

O modelo da perda do sinal de RF no caminho é dado por [1.10]

$$Lp\ ud = C1 + C2.log.(f) - 13,82.log.(hb) - a(hm) + [44,9 - 6,55.log.(hb)].log.(d) + Co \quad (dB) \qquad (4.19)$$

onde

Lp = perda no caminho, dB

f = frequência, MHz

d = distância entre a estação rádio base e o móvel, km (1km < d < 20 km)

h_b = altura efetiva da ERB (altura da antena), m (30 m < h_b < 200 m)

a (h_m) = constante de aproximação da altura do móvel, dB

$$a(hm) = 3,2.[\log.\{11,75.hm\}]^2 - 4,97 \ (\mathrm{dB}) \qquad (4.20)$$

h_m = altura da antena do móvel, m (1 m < hm < 10 m)

C_1 = correção do sinal de RF em função da frequência, dB

= 69,55 entre 150 MHz ≤ f ≤ 1000 MHz

= 46,3 entre 1500 MHz ≤ f ≤ 2000 MHz

C_2 = correção do sinal de RF em função da frequência, dB

= 26,16 entre 150 MHz ≤ f ≤ 1000 MHz

= 33,9 entre 1500 MHz ≤ f ≤ 2000 MHz

C_0 = 3 dB

Inserindo a expressão (4.20) em (4.19) obtemos

$$Lp\ ud = C1 + C2 \log (f) - 13,82 \log (hb) - 3,2 [\log \{11,75 .hm\}]^2 - 4,97 + [44,9 - 6,55 \log (hb)] \log (d) + Co \quad (dB) \qquad (4.21)$$

No item a seguir abordaremos o modelo em área aberta ou rural.

4.5.4 – Modelo de área aberta / rural

No modelo para área aberta, temos áreas isentas de reflexões, difrações, absorção e obstrução do sinal de RF. No desenvolvimento do modelo matemático, adicionamos as perdas de áreas urbanas. As perdas em área aberta são as mesmas em áreas rurais. O modelo de perda no caminho é dado. [1.11]

$$Lp\ r = Lp\ o = Lp\ u - 4{,}78\ (\log f)^2 + 18{,}33 \log. \mathrm{f} - 40{,}94 \quad (\mathrm{dB}) \qquad (4.22)$$

onde

Lp $_o$ = perdas em área aberta, dB

Lp $_r$ = perdas em área rural, dB

Lp $_u$ = perdas em área urbana, dB

f = frequência, MHz

No próximo item exemplificaremos o modelo para áreas sub-urbanas.

4.5.5 – Modelo para área sub-urbana

O modelo para áreas do tipo sub-urbana apresenta uma área intermediária entre área urbana e densa. As considerações matemáticas são apresentadas através da expressão matemática. [1.11]

$$Lp\ su = Lp\ u - 2\ [\log(f/28)]^2 - 5{,}4 \quad (\mathrm{dB}) \qquad (4.23)$$

onde

Lp $_{su}$ = perdas de área sub-urbana, dB

Lp $_u$ = perdas de área urbana, dB

f = frequência, MHz

A seguir apresentamos o modelo de propagação de perdas no sinal de rádio baseado em medições.

4.6 – Modelo de Propagação - B

4.6.1 - Introdução

Utilizamos o modelo de Walfisch-Ikegami para ambientes em áreas de densidade urbana alta. Este modelo matemático está alicerçado em vários parâmetros urbanos tais como densidade das edificações, altura média das edificações e largura de árvores. A largura das árvores tem um decréscimo significativo de perda do sinal de RF. A altura das antenas é geralmente mais baixa que a altura média das edificações, por sua vez os sinais de RF são guiados ao longo das ruas. A simulação é do tipo de um ambiente canyon urbano. A figura 4.84 a seguir exemplifica um "ponto de medição" onde o sinal de rádio é obstruído por prédios. [1.10]

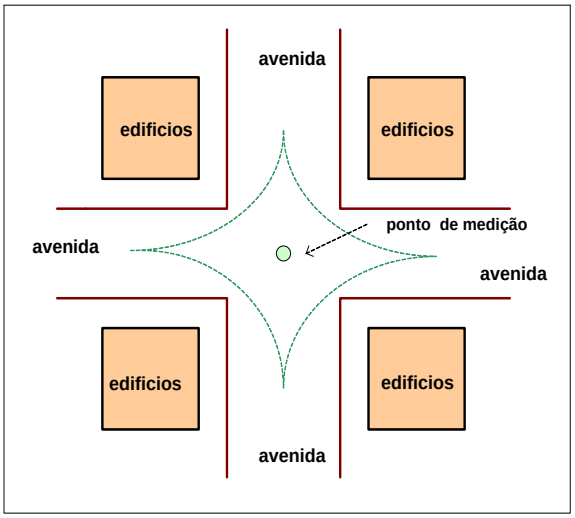


Figura 4.84 - Ponto de medição

O modelo de perda do sinal de RF no percurso na linha de vista é dado por

$$Lp_{(LOS)} = 42{,}6 + 20 \log (f) + 26 \log (d) \quad (dB) \qquad (4.24)$$

Lp (LOS) = perda do sinal de RF na linha de vista, dB

f = frequência, MHz

d = distância, km

Podemos também fazer considerações das perdas do sinal de RF em uma trajetória fora da linha de vista (NLOS). Adicionamos também neste modelo as perdas por difração (L_{diff}) causadas por estruturas metálicas do tipo rooftop (cavaletes) instaladas em cima de prédios e perdas por difração de multi-percurso (L_{mult}) causadas por sinais de rádio ao percorrerem os arredores de edifícios. A figura 4.85 a seguir exemplifica um sistema irradiante do tipo rooftop.

Figura 4.85 - Estrutura rooftop.

O modelo de perda de sinal rádio fora da linha de vista é dado [1.11]

$$Lp\ (NLOS) = 32{,}4 + 20 \log (f) + 20 \log (d) + L\ (diff) + L\ (mult) \quad (dB) \qquad (4.25)$$

f = frequência , MHz

d = distância, km

L_{diff} = perda do sinal de rádio ocasionada por difração, dB

L_{diff} = perda do sinal de rádio ocasionada por difração, dB

A perda do sinal de rádio por difração é caracterizada por [1.11]

$$L(diff) = -16{,}9 - 10\log(\Delta W) + 10\log(f) + 20\log(\Delta hm) + L(0) \quad (dB) \qquad (4.26)$$

onde

ΔW = distância entre a rua onde se encontra o móvel e a edificação (rooftop), m (máximo até 2000 m).

f = frequência, MHz

h_{roof} = altura da antena instalada no rooftop, m

h_m = altura da antena do móvel, m

$$\Delta hm = hroof - hm \quad (m) \qquad (4.27)$$

$L(o)_{dB}$ = perdas de sinal devido o ângulo de elevação entre o móvel e a antena dado em dB. A figura 4.86 a seguir mostra o ângulo de elevação "c"

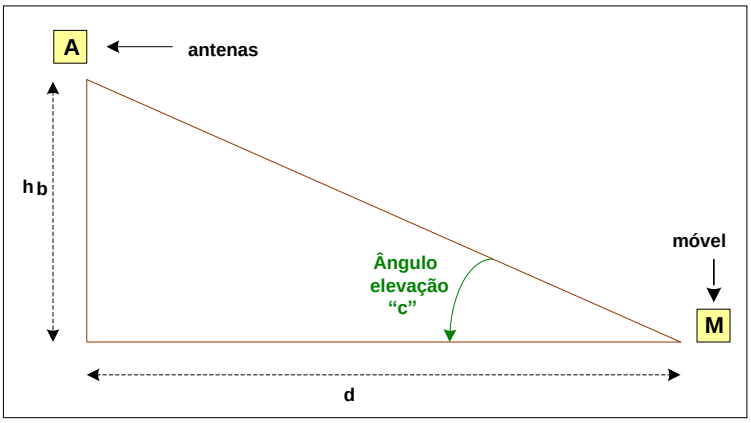


Figura 4.86 - Ângulo de elevação.

Este modelo nos permite calcular as perdas por multi difração e componentes de espalhamento através da seguinte equação. [1.6]

$$L\,(mult) = ko + ka + kd\,.\log(d) + kf\,.\log(f) - 9.\log(w) \quad (dB) \qquad (4.28)$$

$$L\,(mult)\,su = ko + ka + kd.log.(d) + kf.su.log.(f)\ 9.\log(w) \quad (dB) \qquad (4.29)$$

$$L\,(mult)\,u = ko + ka + kd.log.(d) + kfu.\log(f) - 9.log.(w) \quad (dB) \qquad (4.30)$$

onde

$$ko = -18.log.(1 + \Delta hb) \qquad (4.31)$$

$$ka = 54 - 0,8.(\Delta hb \ para \ d \geq 0,5) \qquad (4.32)$$

$$kd = 18 - 15.\left(\frac{\Delta hb}{hroof}\right) \qquad (4.33)$$

$$kf \ su = -4 + 0,7.\left[\left(\frac{f}{925}\right) - 1\right] \quad \text{área sub} - urbana \qquad (4.34)$$

$$kf \ u = -4 + 1,5.\left[\left(\frac{f}{925}\right) - 1\right] \quad \text{área urbana} \qquad (4.35)$$

w = largura da rua, m

h_{roof} = altura média das edificações pequenas (h_{roof} < h_b).

$$\Delta hb = hb - hroof \quad (m) \qquad (4.36)$$

4.7 - Cálculos Adicionais

4.7.1 – Cálculos de Reflexão

Estes cálculos dimensionam as perdas no sistema de RF tais como cabos e antenas. Podemos através deste aplicativo calcular: coeficiente de reflexão, relação de onda estacionária, relação de potência refletida, perda de retorno, perda do sinal causado por descasamento de impedância.

Definimos o coeficiente de reflexão (r) como a relação da potência refletida (P_r) sobre a potência direta (P_d). As potências são expressas em Watts [1.22]

$$r = \frac{Pr}{Pd} \qquad (4.37)$$

Definimos por sua vez a relação de onda estacionária de tensão (VSWR) como. [1.22]

$$VSWR = \frac{1+r}{1-r} \qquad (4.38)$$

Definimos a perda de retorno (Ar) em um sistema de transmissão como

$$Ar = -20.\log.r \quad (dB) \qquad (4.39)$$

Através da relação de potência refletida pela potência de saída podemos definir a relação de potência refletida porcentual como [1.22]

$$\mathrm{Pr}/P = 100.r^2 \ (\%) \qquad (4.40)$$

Definimos como perda de descasamento (Am) como sendo a atenuação do sinal de RF por descasamento de impedância do cabo, conector e antena, a qual pode ser expressa como [1.22]

$$Am = -10\log\,(1 - r^2) \quad (dB) \qquad (4.41)$$

4.7.2 - Conversão de correção dipolo / isotrópico

Podemos apresentar em um sistema irradiante o diagrama de irradiação de um sinal de RF o qual irradia em uma direção através de dois elementos que chamamos de dipolo. Por outro lado, podemos apresentar um diagrama de irradiação de uma onda eletromagnética com uma irradiação do sinal em todas as direções a qual chamamos de irradiação isotrópica. Apresentamos o fator de correção como [1.22]

$$G = dBd + 2{,}15 \quad (dBi) \qquad (4.42)$$

4.7.3 – Conversão de níveis

Definimos a unidade dBm, para indicar a relação entre duas potências P1 e P2, quando estabelecemos como referência, P2 = 1 mW. Desta forma, desde que fixamos a referência em 1mW e uma impedância de 600 Ω. Expressamos esta relação de potência como [1.16]

$$dBm = 10.log.\frac{P1}{10^{-3}} \qquad (4.43)$$

Podemos definir dBu para medir a relação de duas tensões tais como V1 e V2, onde por sua vez a tensão de referência V2 é igual 0,775 V para uma impedância de 600 Ω. Apresentamos a equação a seguir [1.16]

$$dBu = 20.log.\frac{V1}{0,775} \qquad (4.44)$$

Expressamos a unidade dBmV, como sendo a relação de tensão V1 e V2 , sendo por sua vez a tensão V2 com referência de 1 mV para uma impedância de 75 Ω. Apresentamos a equação a seguir [1.16]

$$dBmV = 20.log.\frac{V1}{10^{-3}} \qquad (4.45)$$

Podemos definir a unidade dBμV, com sendo a relação de duas tensões V1 e V2, sendo que a tensão V2 é referenciada em 1 μV e para uma impedância de 50 Ω. Mostramos a seguir a equação [1.16]

$$dB\mu V = 20.log.\frac{V1}{10^{-6}} \qquad (4.46)$$

No item a seguir apresentamos as frequências utilizadas em sistemas celulares em operação no território nacional.

4.8 – Frequências utilizadas no Brasil em Sistema Celular.

As faixas de frequência para o sistema móvel pessoal no Brasil (SMP) estão disponíveis em bandas cujas frequências serão empregadas no desenvolvimento dos cálculos. [5.7]

- 850 MHz, Bandas A e B.
- 900 MHz, bandas de extensão utilizadas no GSM
- 1700 e 1800 MHz, bandas D, E e sub-faixas de extensão utilizadas pelo GSM.
- 1900 MHz e 2100 MHz destinadas na sua maior parte para sistema de terceira geração (3G).

A figura 4.87 a seguir mostra as faixas de frequências do link de subida e descida utilizada no sistema celular nas faixas de 850 MHz e 900 MHz.

Observamos que estas faixas de frequência são designadas por banda de que resultaram as faixas A e B. Constatamos que as bandas apresentam um espectro de frequência descontínuo em sua faixa. [5.7]

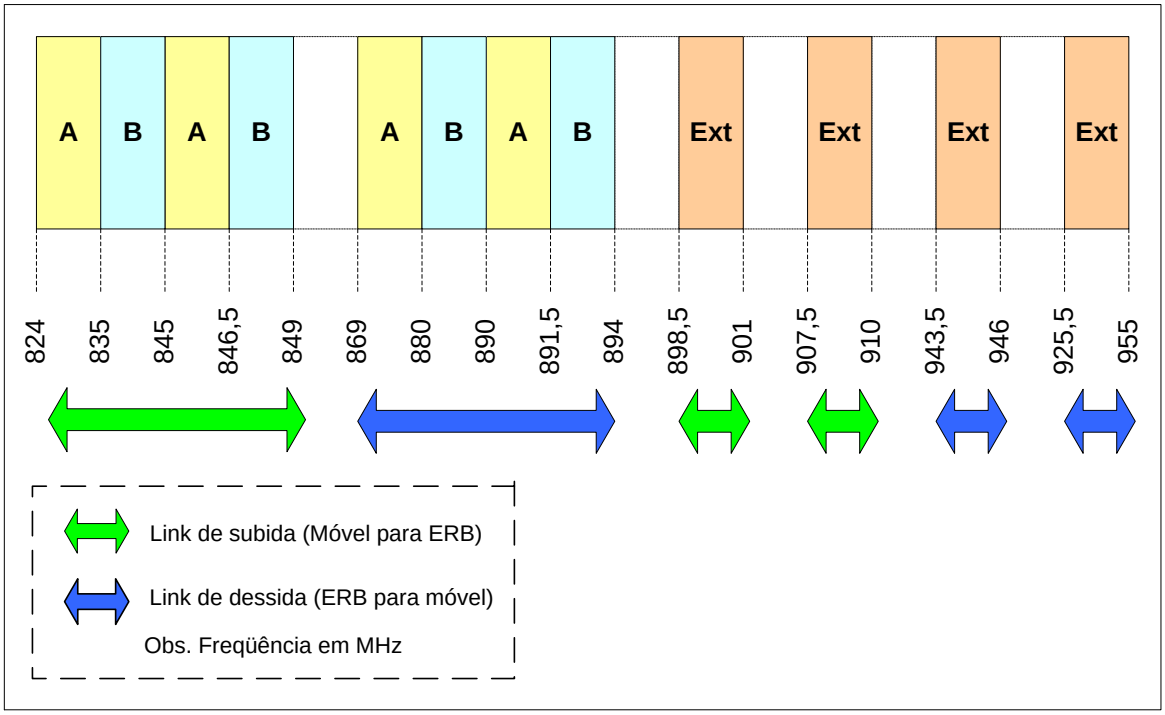


Figura 4.87 - Faixas de frequência em 850 e 900 MHz

Com a tabela 4.11 detalhamos as frequência utilizadas na transmissão de telefonia celular com sub-faixas de frequência: A, B, D, E e sub-faixas de extensão. [5.7]

Freqüências (MHz)	Transmissão	
	Estação Móvel	ERB
Subfaixa A	824 – 835 845 – 846,5	869 – 880 890 – 891,5
Subfaixa B	835 – 845 846,5 - 849	880 – 890 891,5 - 894
Subfaixa D	910 – 912,5 1710 - 1725	955 – 957,5 1805 - 1820
Subfaixa E	912,5 – 915 1740 - 1755	957,5 – 960 1835 - 1850
Subfaixa de Extensão	898,5 – 901 907,5 – 910 1725 – 1740 1775 - 1785	943,5 – 946 952,5 – 955 1820 – 1835 1870

Tabela 4.11 – Sub-faixas de transmissão.

A figura 4.88 apresenta as faixas de frequência de 1.700 MHz e 1.800 MHz empregadas no sistema móvel celular. Dentro destas faixas operamos nas bandas: D, E, M, e as suas respectivas extensões. [5.7]

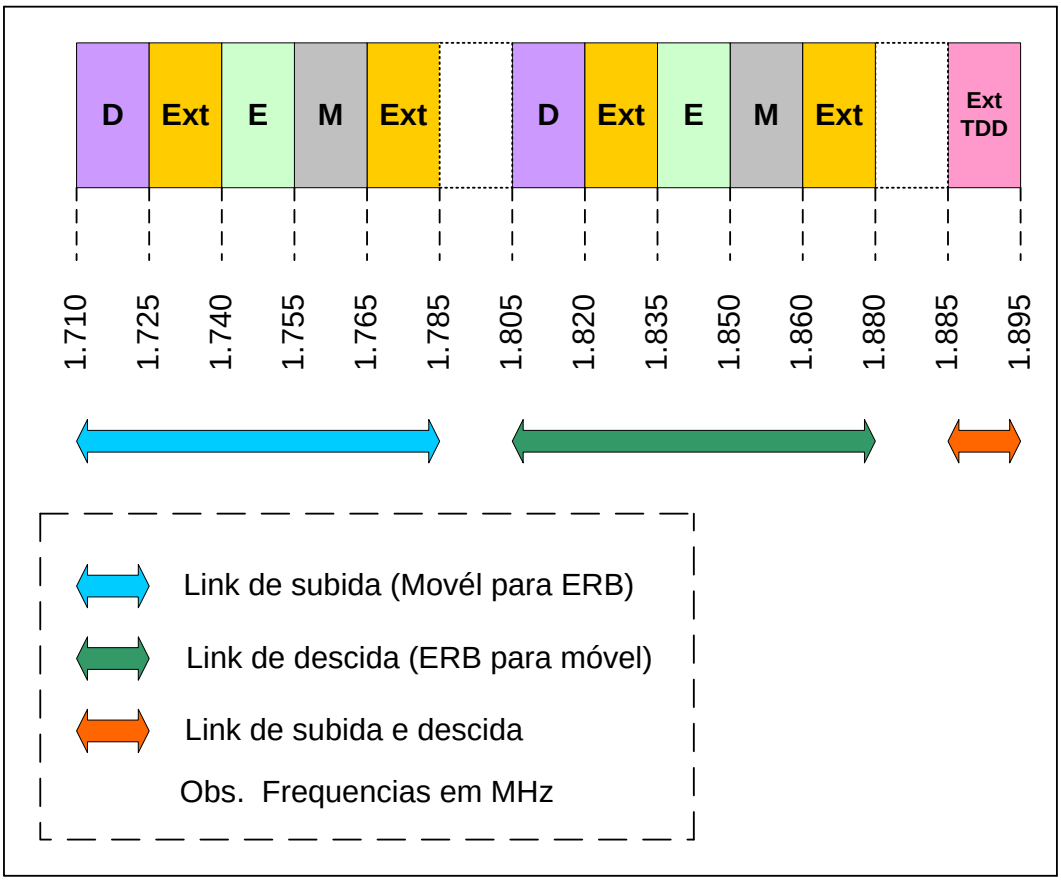


Figura 4.88 - Faixa de frequência de 1.700 MHz e 1.800 MHz

A figura 4.89 mostra as faixas de frequência de 1.900 MHz e 2.100 MHz com aplicações em sistemas celulares. Estas faixas de frequência operam nas bandas: L, F, G, H, I, J. [5.7]

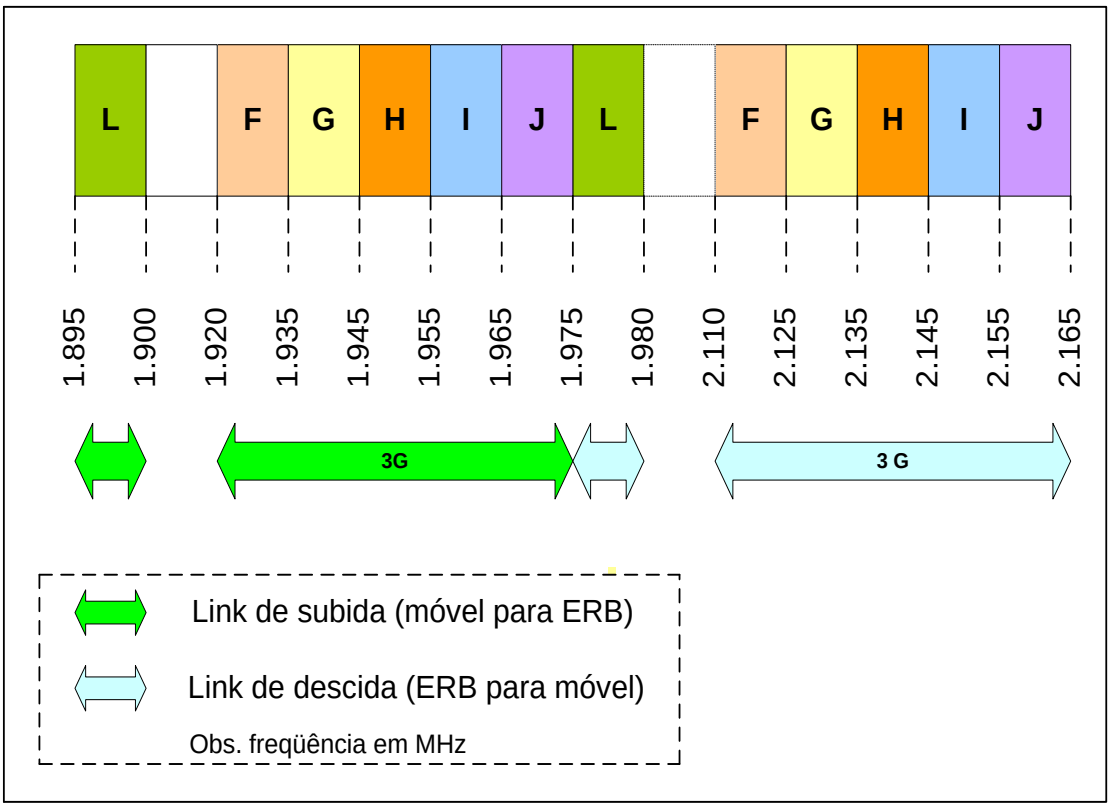


Figura 4.89 - Faixa de frequência 1.900 MHz e 2.100 MHz

Na tabela 4.12 mostramos as novas bandas do serviço móvel pessoal (SMP). [5.7]

Sub-faixas	Transmissão	
	Estação Móvel	ERB
F*	1.920 – 1.935	2.110 – 2.125
G*	1.935 – 1.945	2.125 – 2.135
H*	1.945 - 1.955	2.135 – 2.145
I*	1.955 – 1.965	2.145 – 2.155
J*	1.965 – 1.975	2.155 – 2.165
L	1.895 – 1.900	1.975 – 1.980
M	1.755 – 1.765	1.850 - 1860
Subfaixas de Extensão	1.765 – 1.770 1.770 - 1775	1.860 – 1865 1.865 – 1.870
	1.885 – 1890** 1.890 – 1.895**	

Tabela 4.12 - Subfaixas do sistemas SMP

Faixas reservadas para o sistema 3 G

** Sistema TDD (Time Division Duplex) que utilizamos a mesma subfaixa de frequência para transmissão nas duas direções.

No item a seguir apresentaremos o diagrama de bloco do simulador com suas respectivas funções.

4.9 – Operações realizadas pelo simulador

Apresentamos o diagrama de bloco geral do simulador com os respectivos recursos de cálculo facilitando a obtenção de resultados de forma rápida e a comparação com os diversos modelos de perdas do sinal de RF apresentados. A figura 4.90 mostra o diagrama de bloco geral do simulador nas opções de propagação A e B.

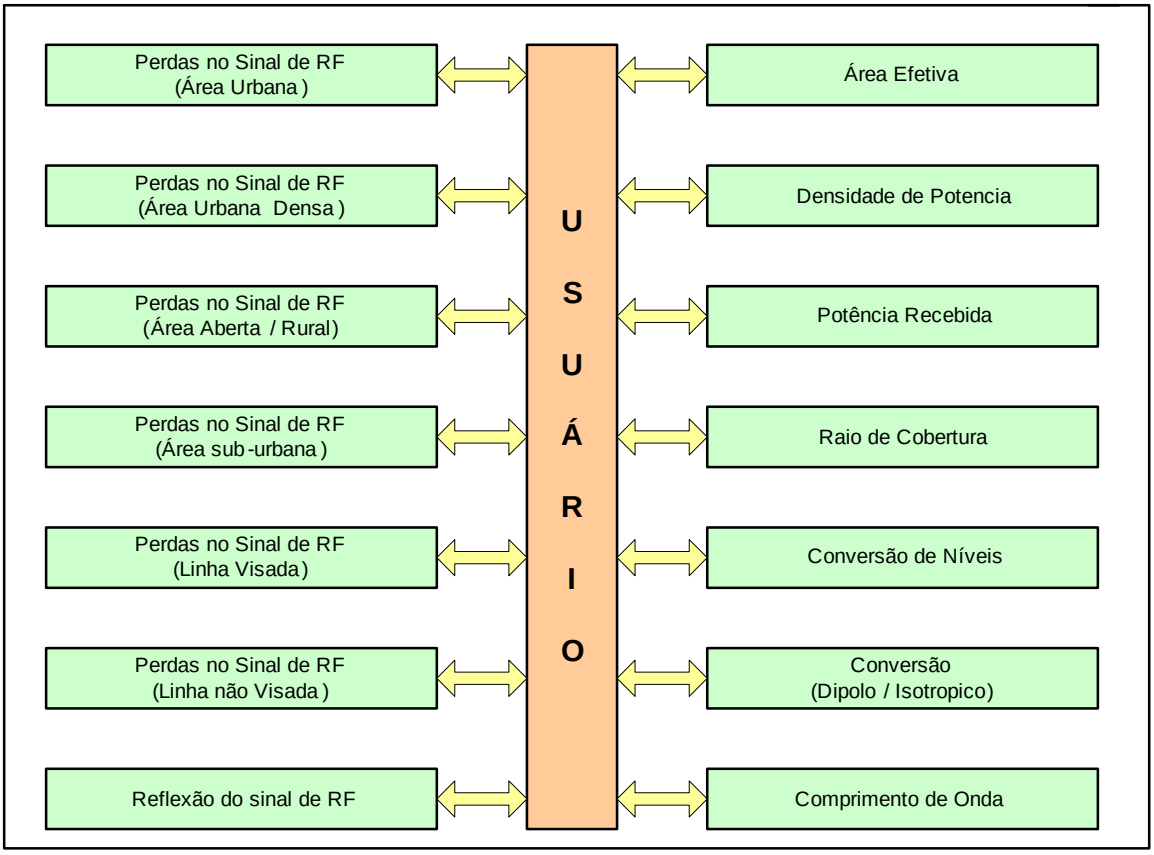


Figura 4.90 – Diagrama geral do simulador.

No item a seguir apresentaremos a operação detalhada.

4.9.1 – Operação do Simulador - Propagação A

Através do diagrama de atividade podemos ter uma visão geral da operação do simulador na condição de propagação A. Primeiramente, ajustamos a faixa de frequência de operação desejada e em seguida escolhemos as perdas do sinal de rádio nas condições de área: urbana, urbana densa, aberta/rural e suburbanas. Por exemplo, se escolhemos como opção a área urbana, entramos com as variáveis: frequência (f), altura da estação rádio base (hb), altura do móvel (hm), distância do móvel em relação à estação rádio base (d). As constantes (C0, C1, C2) são alocadas automaticamente em função da faixa de frequência escolhida. O simulador passa a ler às variável, calcula os dados inseridos e exibe os resultados das perdas em uma área urbana (Lp u).

Podemos comparar os resultados de perdas do sinal de RF (Lp) nas opções de propagação A/B. A figura 4.91 mostra o diagrama de atividade da Propagação A.

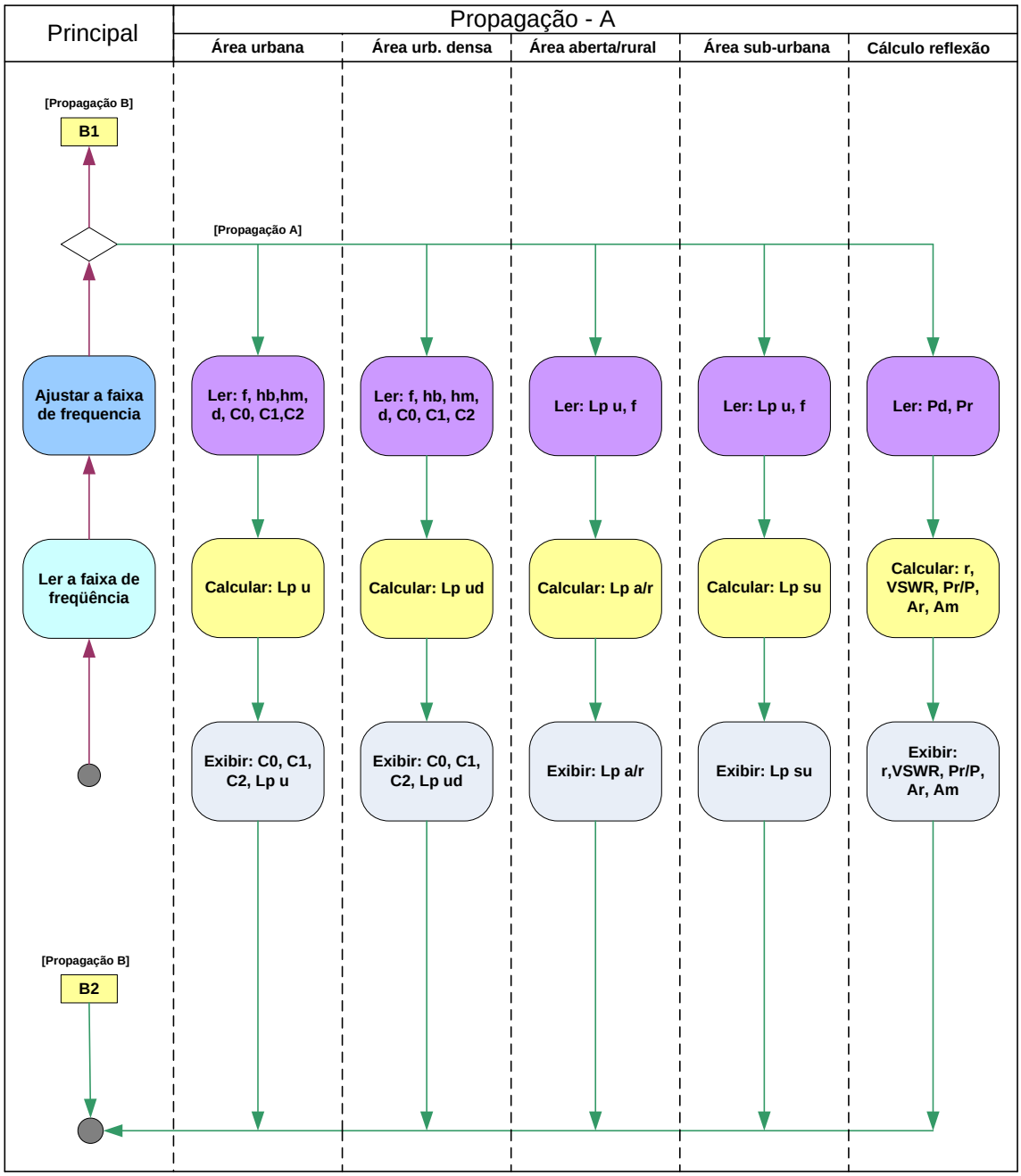


Figura 4.91 - Diagrama de atividade propagação A

Através da operação do simulador com a opção de propagação A apresentamos os cálculos de perdas de sinal de RF nas áreas: urbanas, urbana densa, sub-urbana, aberta/rural, cálculos de reflexão e faixas de frequência utilizadas na telefonia móvel celular utilizadas no território nacional. A figura 4.92 mostra o diagrama de bloco dos recursos de cálculos disponíveis na opção de propagação A.

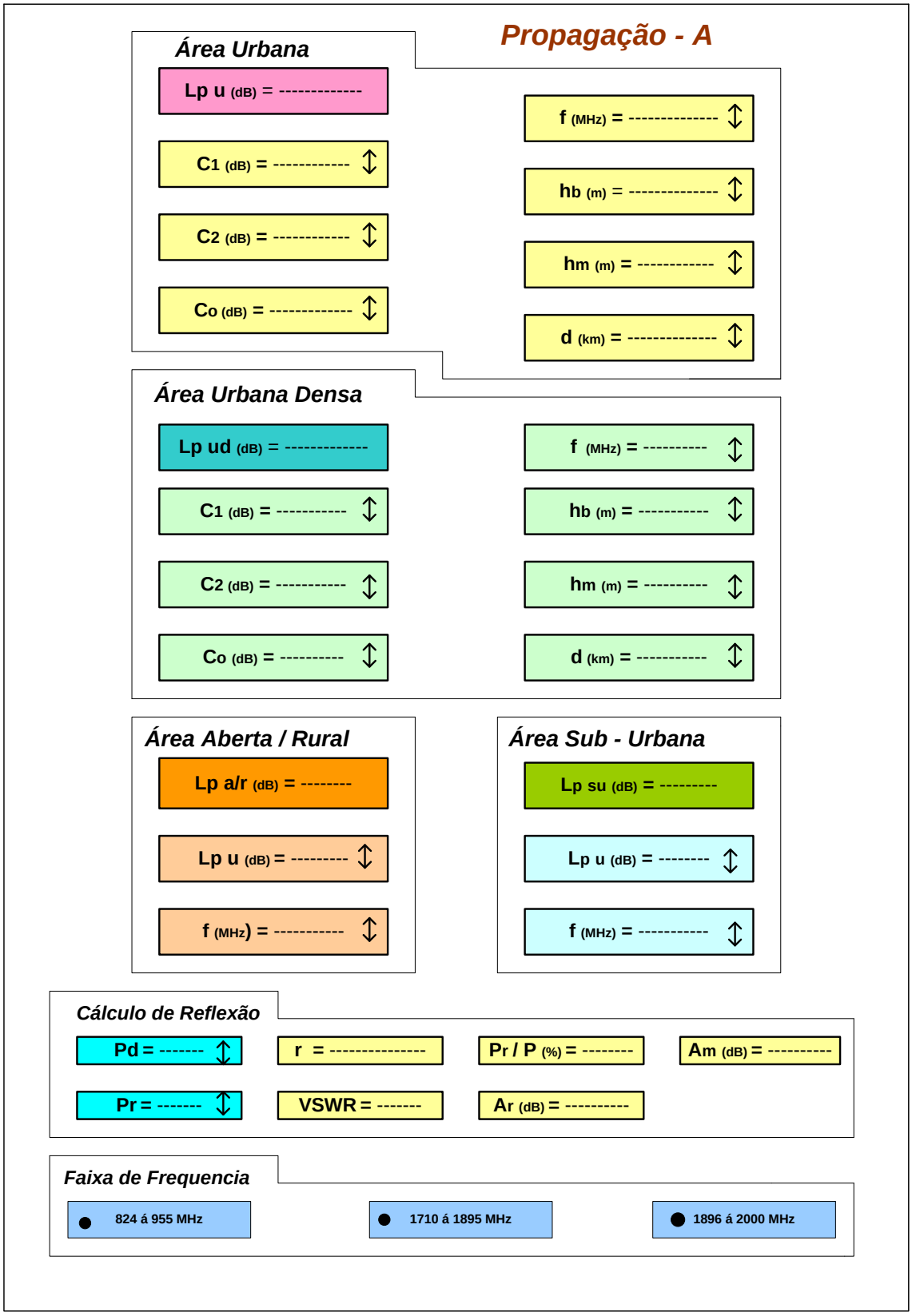


Figura 4.92 - Diagrama de bloco Propagação – A

4.9.1.1 – Área Urbana

Obtemos o resultado das perdas do sinal de RF em uma área urbana (Lp u) com o adicionamento dos fatores de correção de frequência (C_0, C_1, C_2), frequência (f), altura de antena da estação rádio base (h_b), altura da antena do móvel (h_m) e distância do móvel em relação à estação rádio base (d). A figura 4.93 a seguir mostra o diagrama de bloco das perdas em uma área urbana.

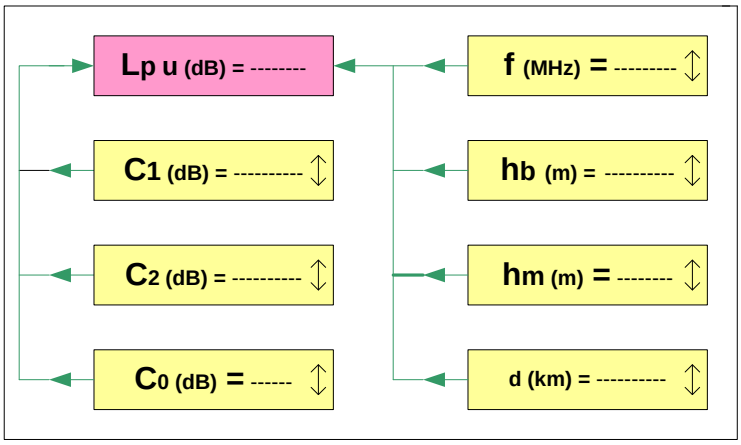


Figura 4.93 - Diagrama de bloco da área urbana.

4.9.1.2 – Área Urbana Densa

Os resultados obtidos nas perdas de sinal de RF em uma área urbana densa ($L_{p\ ud}$) são obtidos através da inserção das variáveis tais como: fatores de correção de frequência (C_0, C_1, C_2), frequência (f), altura de antena da estação rádio base (h_b), altura da antena do móvel (hm) e distância do móvel a estação rádio base (d). A figura 4.94 mostra o diagrama de bloco da área urbana densa.

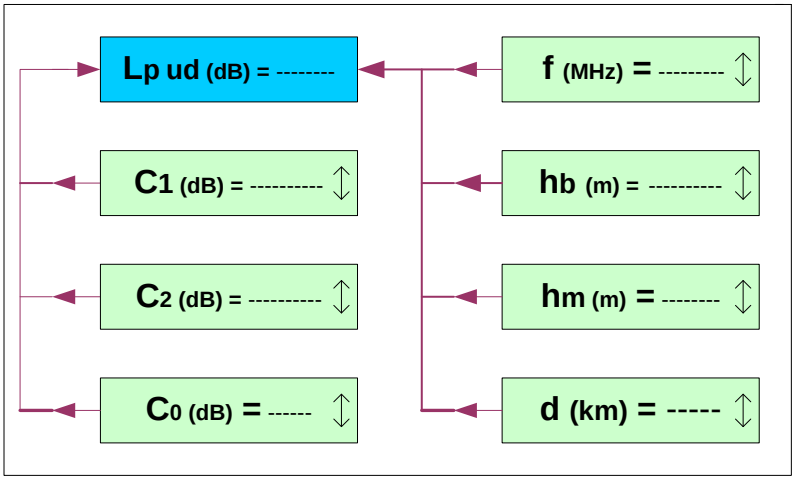


Figura 4.94 - Diagrama de bloco área urbana densa.

4.9.1.3 – Área Aberta / Rural

Adquirimos os resultados das perdas do sinal de RF em uma área aberta ou rural através do adicionamento das variáveis tais como: perdas na área urbana ($L_{p\ u}$) mais a frequência de operação do canal de rádio (f). A figura 4.95 mostra o diagrama de bloco da área aberta ou rural.

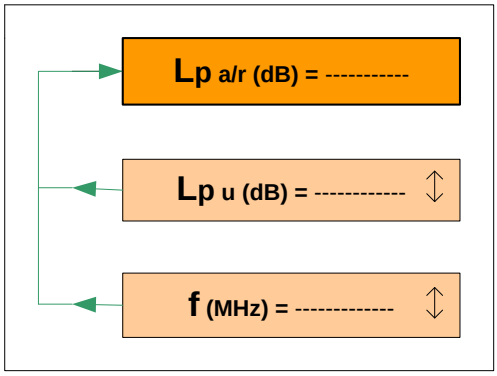


Figura 4.95 - Área aberta/rural.

4.9.1.4 – Área Sub-Urbana

O resultado de perda de sinal de RF em uma área sub-urbana é obtido através da inserção das variáveis de perdas no sinal de RF de uma área urbana

(Lp u) mais a frequência de operação do canal de rádio. A figura 4.96 mostra o diagrama de bloco de uma área sub-urbana.

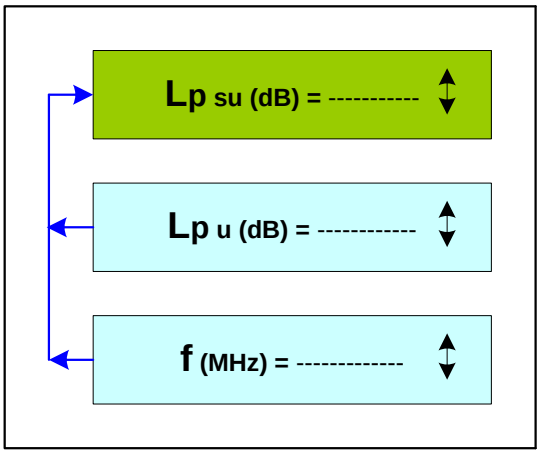


Figura 4.96 - Área sub-urbana.

4.9.1.5 – Cálculo de Reflexão

Englobamos nos cálculos de reflexão do sinal de rádio: coeficiente de reflexão (r); relação de onda estacionária (VSWR); relação de potência refletida (P_r/P); perda de retorno (A_r); e perda do sinal através do descasamento de impedância (A_m). Quando inserimos a potência refletida (P_r) e potência direta (P) automaticamente obtemos os resultados de reflexão do sinal de RF. A figura 4.97 mostra o diagrama de bloco dos cálculos de reflexão.

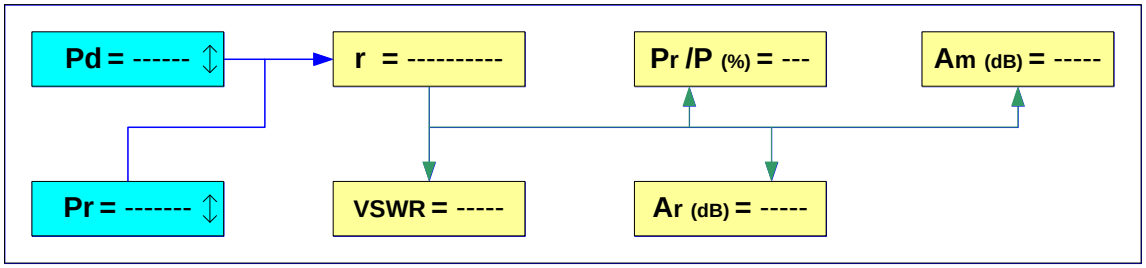


Figura 4.97 - Diagrama de bloco do cálculo de reflexão

4.9.1.6 – Faixa de Frequência de Operação

Possuímos um campo no simulador na opção de Propagação – A, designado de faixa de frequência de operação do qual podemos selecionar as frequências que vão de 824 a 955 (MHz), de 1710 a 1895 (MHz), de 1896 a 2000 (MHz). A figura 4.98 apresenta o diagrama de bloco das faixas de frequência.

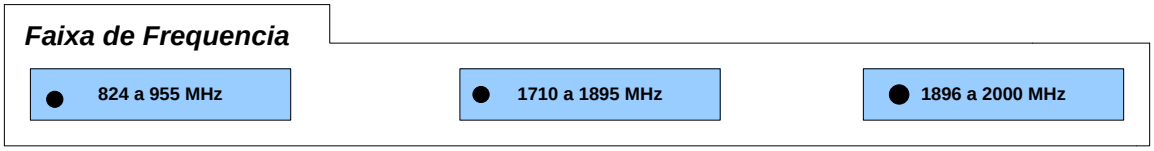


Figura 4.98 - Faixas de freqüência

4.10 – Operação do Simulador - Propagação B

Através do diagrama de atividade podemos ter uma visão geral da operação do simulador na condição de propagação B. Primeiramente ajustamos a faixa de frequência de operação desejada e em seguida escolhemos, por exemplo, perdas do sinal de rádio na linha visada (Lp LOS) e entramos com as variáveis: frequência (f) e distância d). O simulador passa a ler as variáveis, calcula os dados inseridos e exibe os resultados das perdas do sinal de RF na linha visada (Lp LOS).

Podemos comparar os resultados de perdas do sinal de RF na linha visada e compará-los com os resultados obtidos do simulador na condição de propagação B. A figura 4.99 mostramos o diagrama de atividade da Propagação B.

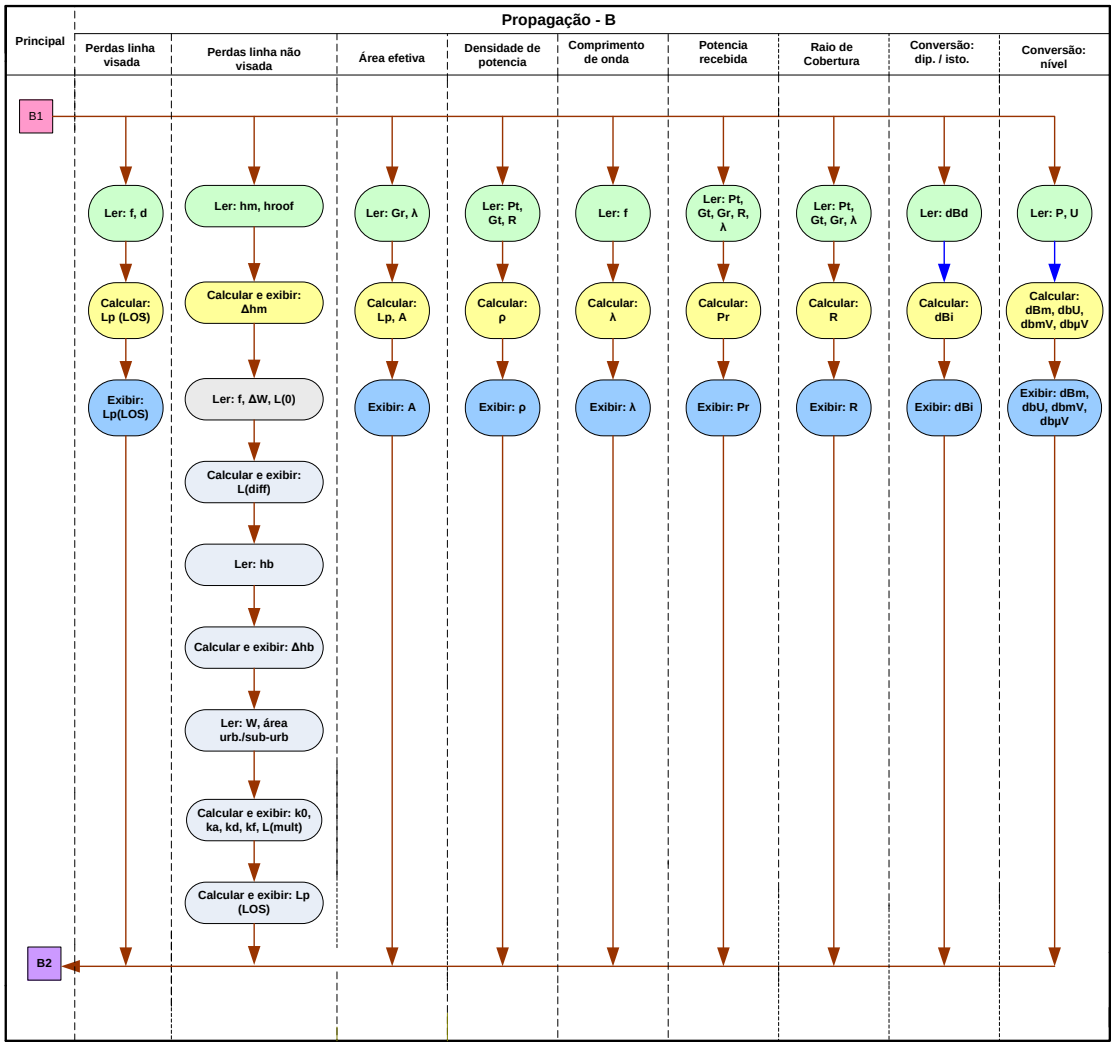


Figura 4.99 - Diagrama de Atividade Propagação "B"

Através do simulador na opção de Propagação - B podemos realizar os cálculos de perda do sinal de RF do canal de rádio de forma rápida e segura. Além do mais, podemos realizar comparações com outros modelos mencionados no texto. Podemos realizar as seguintes operações: perda do sinal de RF na linha visada; perdas do sinal de RF na linha não visada; densidade de potência; potência recebida do sinal de RF; raio de cobertura; conversão de dipolo para isotrópico; conversões de nível de sinal; comprimento de onda da frequência em operação. A figura 4.100 mostra o diagrama de bloco do simulador com o módulo de propagação – B.

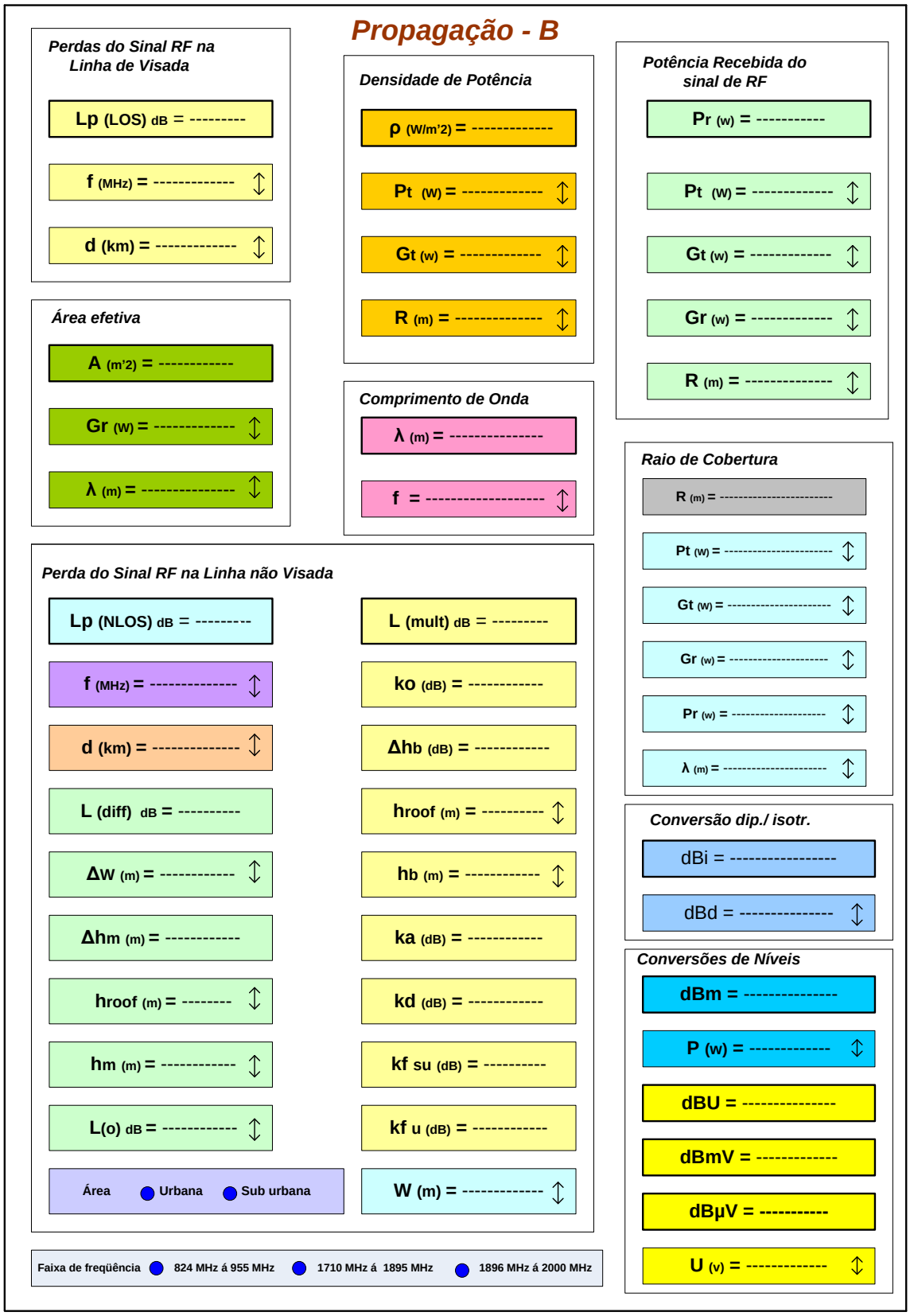


Figura 4.100 - Diagrama de Bloco Propagação - B

A seguir explicaremos detalhadamente a operação do simulador no módulo de propagação – B.

4.10.1 – Perdas do sinal de RF na Linha Visada

Podemos dimensionar as perdas do sinal de RF em uma propagação via rádio adotando o meio como linha visada (Lp los). Setamos a frequência de operação (f) do canal de rádio e a distância (d) entre a estação rádio base (ERB) e o equipamento móvel (EM). A figura 4.101 mostra o diagrama de bloco das perdas do sinal de rádio na linha visada.

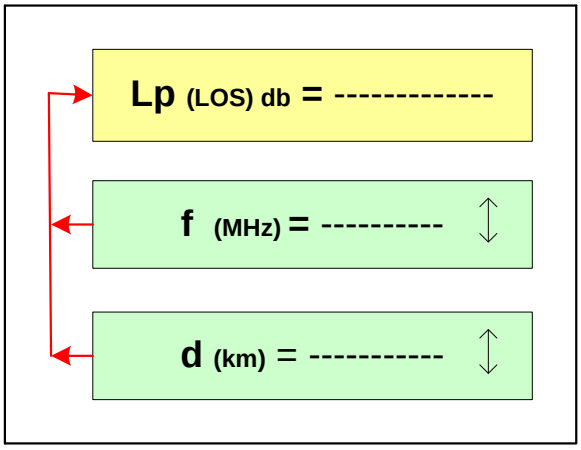


Figura 4.101 - Perdas da Linha Visada.

4.10.2 - Área Efetiva

Podemos obter o cálculo da área efetiva de uma antena através do adicionamento do ganho da antena (Gr) mais o comprimento de onda do sinal (λ). A figura 4.102 mostra o diagrama de bloco da área efetiva.

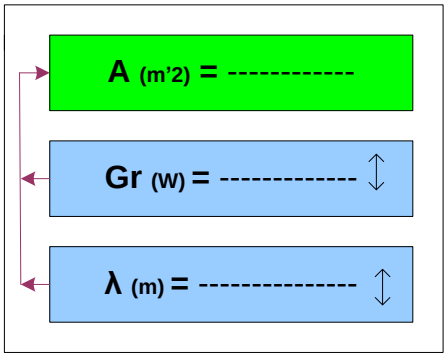


Figura 4.102 – Área efetiva

4.10.3 – Perda do Sinal de RF na Linha não Visada.

Podemos obter as perdas do sinal de rádio em função da linha não visada do sinal de rádio ($L_{p\ NLO}$) através da somatória dos parâmetros: perdas do sinal de rádio no espaço livre, mais as perdas por difração e multi caminho.

Definimos como perdas do sinal de rádio no espaço livre em função dos parâmetros: frequência (f) e distância (d).

As perdas do sinal de rádio por difração ($L_{p\ diff}$) são constituídas com a somatória dos parâmetros: distância do móvel a edificação rooftop (ΔW); diferença de altura entre o rooftop e móvel (Δh_m); perda do sinal em função do ângulo de inclinação entre o móvel e a estação rádio base (L_0).

As perdas por multi caminho (L mult) são atribuídas graças aos parâmetros: constante de aproximação de frequência e altura do móvel (k_0, ka, K_b, k_f); perda por variação da altura entre o rooftop e móvel (Δh_m); perda devido à largura da rua (W).

A figura 4.103 mostramos o diagrama de bloco das perdas do sinal de rádio na linha não visada e a interligação das variáveis do equacionamento na obtenção de resultado.

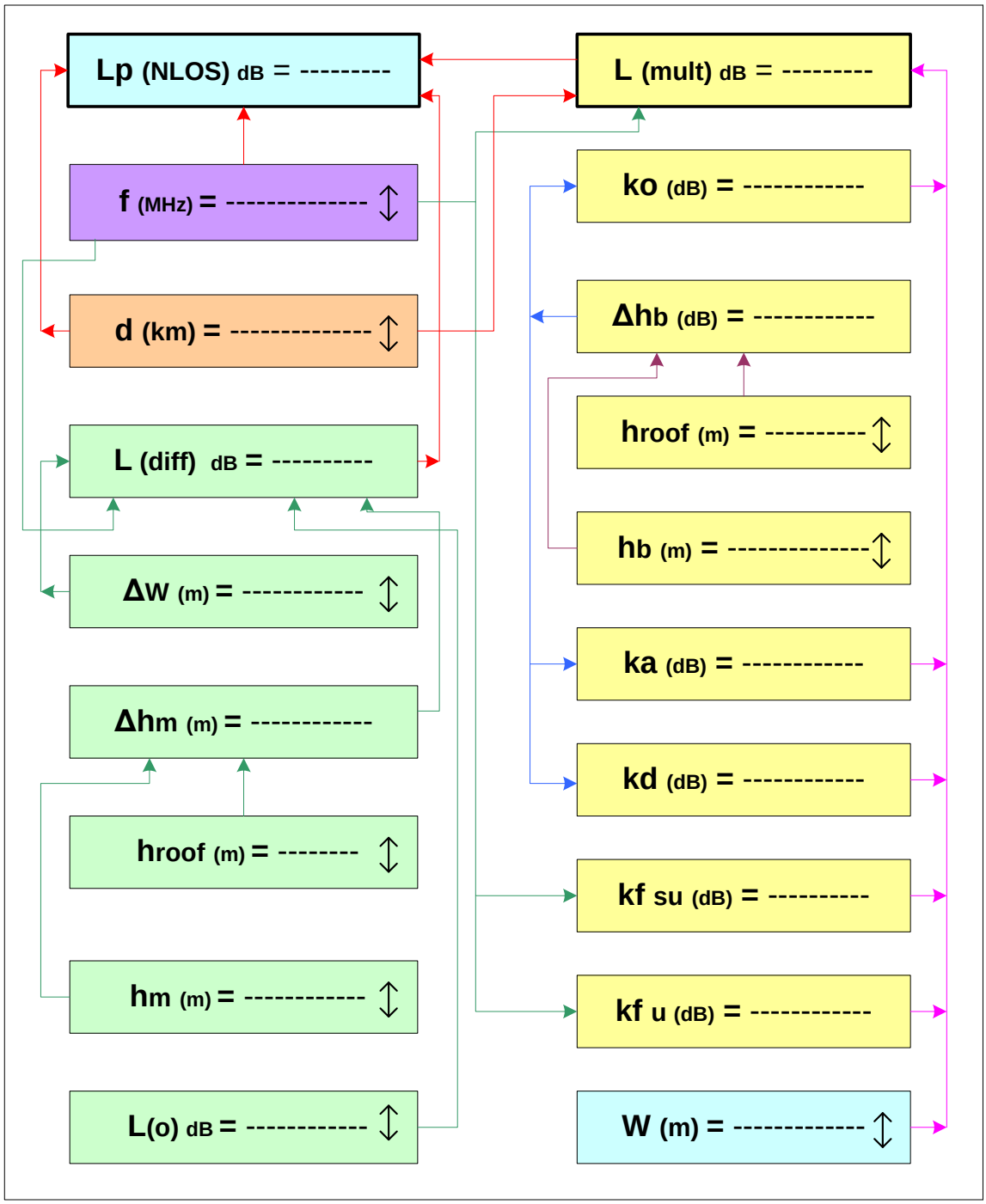


Figura 4.103 - Diagrama de Bloco das Perdas do Sinal na Linha não Visada.

4.10.4 – Densidade de Potência

A densidade de potência é obtida com a inclusão dos parâmetros: potência do canal de transmissão (Pt) da estação rádio base; ganho da antena de transmissão (Gt) e raio de cobertura da célula (R) . A figura 4.104 mostra o

diagrama de bloco da densidade de potência e a interligação dos parâmetros no cálculo envolvido.

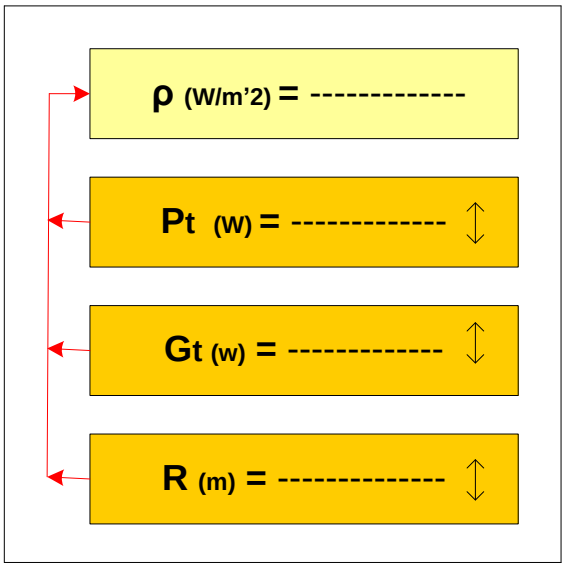


Figura 4.104 - Densidade de Potência

4.10.5 – Comprimento de Onda

Conseguimos o comprimento de onda de um canal de RF através a inserção da frequência do mesmo. A figura 4.105 ilustra o diagrama de bloco do comprimento de onda em função da frequência de operação.

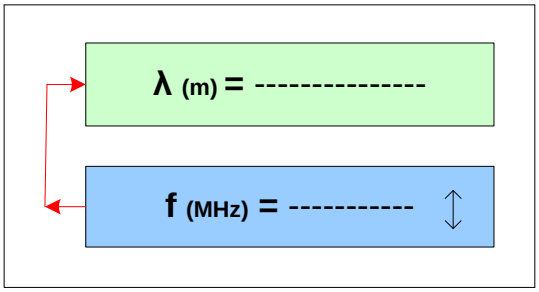


Figura 4.105 - Comprimento de Onda.

4.10.6 – Potência Recebida

Obtemos o cálculo da potência recebida pelo móvel (P_r) através da entrada dos parâmetros: potência de transmissão do canal de rádio da estação rádio base (P_t); ganho da antena de transmissão (G_t) da estação rádio base, ganho da antena de recepção do móvel (G_r), raio de cobertura da célula (R) e comprimento de onda (λ) . A figura 4.106 exibe o diagrama de bloco da obtenção da potência de recepção do móvel.

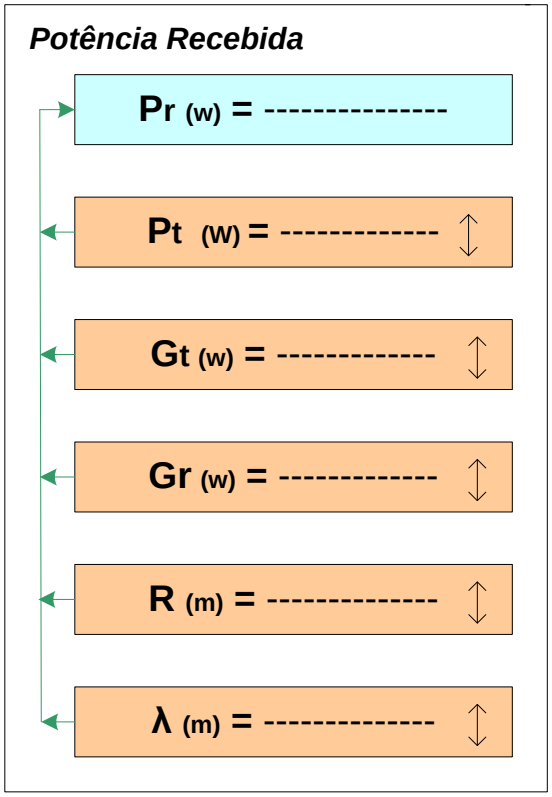


Figura 4.106 - Potência de Recepção.

4.10.7 – Raio de Cobertura

O cálculo do raio de cobertura da célula (R) é feito através da inclusão dos parâmetros: potência co canal de rádio (Pt), Ganho da antena de transmissão (Gt), Ganho da antena de recepção (Gr), Potência de recepção do móvel (Pr) e

comprimento de onda do sinal (λ). A figura 4.107 mostra o diagrama de bloco do raio de cobertura da célula.

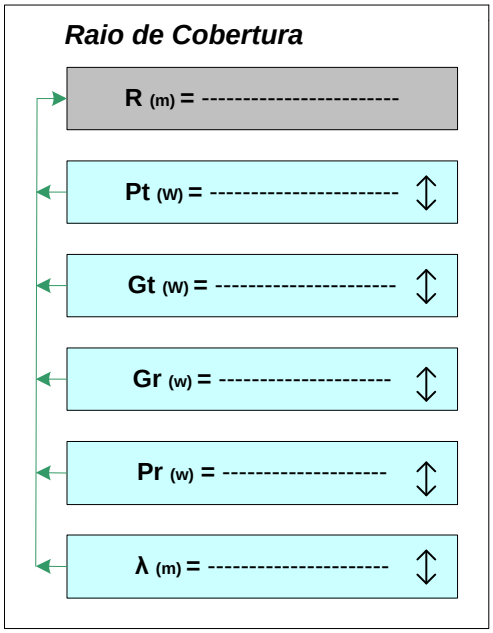


Figura 4.107 - Raio de Cobertura.

4.10.8 – Conversão de Dipolo / Isotrópico

Podemos realizar a conversão de ganho de uma antena com um dipolo de meio comprimento de onda para o ganho de uma antena do tipo isotrópico. A figura 4.108 ilustra o diagrama de bloco da conversão.

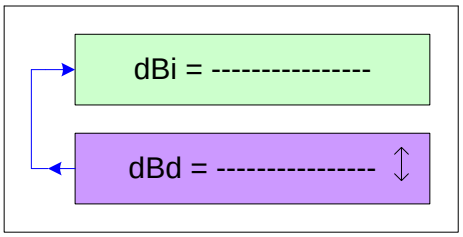


Figura 4.108 – Conversão

4.10.9 – Conversão de Nível

Através da conversão de nível podemos realizar as transformações de potência para dBm. Quando inserimos a tensão “U” automaticamente, são

calculados os valores de dBU, dBm e dBµV. A figura 4.109 mostra o diagrama de bloco de conversão de níveis.

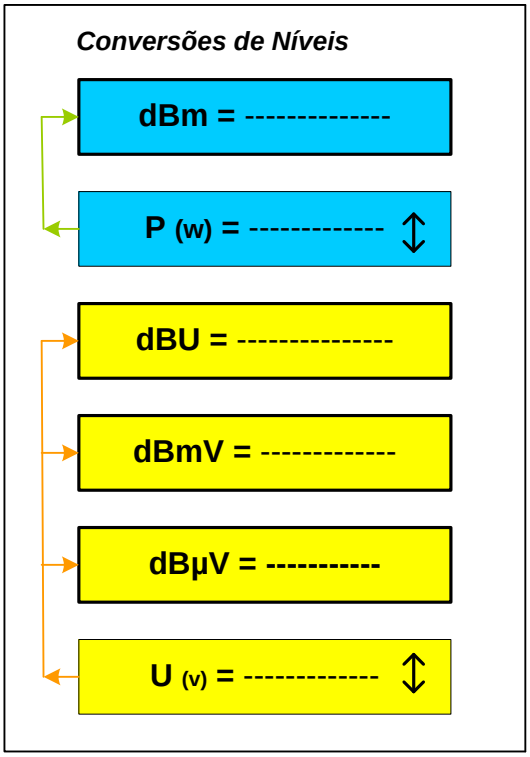


Figura 4.109 - Conversão de Níveis

No item a seguir mostramos um exemplo de simulação dos cálculos realizado através do simulador nas condições de Propagação "A" e "B".

4.11 – Simulado

4.11.1 – Dados fornecidos ao Simulador (Propagação A/B)

f = 850 MHz; h_b = 30 m; hm = 3 m; d = 0,5 km; ΔW = 1 km; h_{roof} = 5m;

$L_{(0)}$ = 4; W = 20 m; P_r = 1 mW; Pd = 1 W; P_1 = 10 W; V_1 = 10 V; R = 500 m

Propagação - A

4.11.2- Área urbana.

$$Lp\,u = C1 + C2.log.(f) - 13,82.log.(hb) - \{1,1.log.(f) - 0,7\}.h - \{1,56.log.(f) - 0,8\} + [44,9 - 6,55.log.(hb)].log.(d) + Co \quad (dB) \quad (4.18)$$

= 69,55 + 26,16 .log (850) – 13,82 log 30 – {1,1 log (850) – 0,7}.3 – {1,56. Log (850) – 0,8} + [44,9 – 6,55. Log (30)]. Log (0,5) + 0

Lp = 69.55 + 76,63 – 20,41 – 7,56 – 3,76 – 10,60 + 0

Lp u = 103,85 (dB)

4.11.3 - Área Urbana Densa

$$Lp\,ud = C1 + C2.\,log.(f) - 13,82.log.(hb) - a(hm) + [44,9 - 6,55.log.(hb)].log.(d) + Co \quad (dB) \quad (4.19)$$

= 69,55 + 26,16.log 850 – 13,82.log 30 – 3,2[log.{11,75 . 3}]'2 – 4,97 + [44,9 – 6,55 .log

30] . log 0,5 +3

Lp ud = 105, 55 (dB)

4.11.4 - Área aberta / rural

$$Lp\,u - 4,78\,(\log f)^2 + 18,33\,\log.f - 40,94 \quad (dB) \quad (4.22)$$

= 103,85 – 4,78 (log 850)'2 + 18,33.log 850 – 40,94

= 103,95 – 41,01 + 53,69 – 40,94

Lp r = Lp o = 75,59 (dB)

4.11.5 - Área sub-urbana

$$Lp\,su = Lp\,u - 2\,[\log(f/28)]^2 - 5,4 \quad (dB) \quad (4.23)$$

= 103,85 – 2.[log (850/28)]'2 – 5,4

= 103,85 – 4,39 – 5,4

Lp su = 94,05 (dB)

4.11.6 - Cálculos de Reflexão

$r = \frac{Pr}{Pd}$ (4.37) = 1 . 0,001/ 1 r **r = 0,001**

$VSWR = \frac{1+r}{1-r} = (4.38)$ = 0,001 + / 1 – 0,001 **VSWR = 1,002**

$Ar = -20.\log r \quad (dB) \quad (4.39)$
= - 20. Log 0,001

Ar = 60 (dB)

$Pr/P = 100.r^2 \ \% \quad (4.40)$ = 100 . 0,001'2

Pr / P = 0,0001 %

$Am = -10\log(1 - r^2) \quad (dB) \quad (4.41)$

= -10.log.(1 – 0,001'2)

Am = 0,00000434 (dB)

4. 12 - Propagação B

4.12.1 – Perda do sinal de RF na linha Visada Lp (LOS)

Lp (LOS) = 42,6 + 20 log (f) + 26 log (d) (dB) (4.24)

= 42,6 + log 850 + 26 log 0,5

= 42,6 + 58,58 – 7,82

Lp (Los) = 93,36 (dB)

4.12.2 - Área Efetiva (Ae)

$Ae = \frac{Gr.\lambda^2}{4.\pi} \quad (m^2) \quad (4.3)$

$$= \frac{10.0{,}35^2}{4.\pi}$$

Ae = 0,0974 m^2

4.12.3 - Perda do Sinal de RF na Linha não Visada. Lp (NLOS)

Lp (NLOS) = 32,4 + 20 log (f) + 20 log (d) + L (diff) + L (mult) (dB) (4.25)

L(diff) = - 16,9 - 10 log (ΔW) + 10 log (f) + 20 log (Δhm) + L (0) (dB) (4.26)

$$\Delta hm = hroof - hm \quad (m) \quad (4.27)$$

= 5 – 3

Δhm = 2 (m)

= - 16,9 – 10.log 1 + 10 log 850+ 20 log 2 + 4

= - 16,9 – 0 + 29,29 + 6,02 + 4

L (diff) = 22,41 (dB)

$$L\,(mult) = ko + ka + kd\,.\log(d) + kf\,.\log(f) - 9.\log(w) \quad (dB) \quad (4.28)$$

$$L\,(mult)\,su = ko + ka + kd.log.(d) + kf.su.log.(f)\,9.\log(w) \quad (dB) \quad (4.29)$$

$$L\,(mult)\,u = ko + ka + kd.log.(d) + kfu.\log(f) - 9.log.(w) \quad (dB) \quad (4.30)$$

onde

$$ko = -18.log.(1 + \Delta hb) \quad (4.31)$$

$$\Delta hb = hb - hroof \quad (m) \quad (4.36)$$

= 30 – 5

Δhb = 25 (m)

= - 18. Log (1 + 25) = - 18 . log 26 = **ko = - 25,46**

$$ka = 54 - 0{,}8.(\Delta hb\ para\ d \geq 0{,}5) \quad (4.32)$$

= 54 – 0,8 . 25

ka = 34

$$kd = 18 - 15.\left(\frac{\Delta hb}{hroof}\right) \qquad (4.33)$$

= 18 – 15 (25 / 5)

kd = - 57

$$kf\ su\ (dB) = -\ 4 + 0{,}7\ \left[\left(\frac{f}{925}\right)\right] -\ 1\ ] \qquad (4.34)$$

= - 4 + 0,7 [(850 / 925) -1]

= - 4 + 0,7 . (- 0,081)

kf su = - 4,056

$$kf\,u = -4 + 1{,}5.\left[\left(\frac{f}{925}\right) - 1\right] \quad \text{área urbana} \qquad (4.35)$$

= - 4 + 1,5 [(850 / 950) – 1]

Kf u = - 4,12

$$L\ (mult)\ u = ko + ka + kd.log.(d) +\ kfu.\log(f) -\ 9.log.(w)\ \ (dB) \quad (4.30)$$

= - 25,46 + 34 – 57. log 0,5 - 4,12 . log 850 – 9 log 20

= - 25,46 + 34 + 17,15 – 12,069 – 11,709

L (mult) u = 1,91 (dB)

$$L\ (mult)\ su = ko + ka + kd.log.(d) +\ kf.su.log.(f)\ 9.\log(w)\ \ (dB) \qquad (4.29)$$

= - 25,46 + 34 – 57. log (0,5) - 4,056.log 850 – 9 log 20

= - 25,46 + 34 + 17,15 – 11,88 – 11,70

L (mult) su = 2,10 (dB)

Lp (NLOS) su dB = 32,4 + 20 log (f) + 20 log (d) + L (diff) +L (mult) su (4.25)

= 32,4 + 20 log 850 + 20 log 0,5 + 22,41 + 2,10

= 32,4 + 58,58 – 6,02 + 22,41 + 2,10

Lp (NLOS) su dB = 109,47

Lp (NLOS) u dB = 109,28

4.12.4 - Densidade de Potência ρ (W/m'2)

$$\rho = \frac{Pt.Gt}{4\pi R^2} \quad (W/m^2) \qquad (4.1)$$

= 10 . 10 / 4 . 3,14 . 500^2

= 100 / 4 . 3,14 . 250000

ρ = 31,83 µw/m'2

4.12.5 - Comprimento de Onda (λ)

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (m) \qquad (4.2)$$

= 3. 10^8 / 850

λ (m) = 0,35 (m)

4.12.6 - Potência Recebida (Pr)

$$Pr = Pt.Gt.Gr.(\frac{\lambda}{4\pi R})^2 \quad (W) \qquad (4.4)$$

= 10 .10. 10 . $(\frac{0,35}{4\ .3,14.500})^2$

Pr = 3,1 µW

4.12.7 - Raio de Cobertura (R)

$$R^2 = \frac{(Pt.Gt.Gr.\lambda^2)}{16.\pi^2.Pr} \quad (4.4)$$

$$= \frac{(10.10.10.0{,}35^2)}{(16.3{,}14^2.3{,}1^{10^{-6}}}$$

R = 500,25 (m)

4.12.8 - Conversão dipolo / isotrópico

$$dBi = dBd + 2{,}15 \quad (4.42)$$

15 + 2,15

dBi = 17,15

4.12.9 - Conversão de níveis

$$dBm = 10.log.\frac{P1}{10^{-3}} \quad (4.43)$$

$$= 10.log\frac{10}{10^{-3}} \qquad dbm = 40$$

$$dBu = 20.log.\frac{V1}{0{,}775} \quad (4.44)$$

$$= 20.log\frac{10}{0{,}775} \qquad dBu = 22{,}21$$

$$dBmV = 20.log.\frac{V1}{10^{-3}} \quad (4.45)$$

$$= 20.log\frac{V1}{10^{-3}} \qquad dBmV = 80$$

$$dB\mu V = 20.log.\frac{V1}{10^{-6}} \quad (4.46)$$

$$= 20.log\frac{10}{10^{-6}} \qquad dB\mu V = 140$$

4. 13 – Considerações finais do capítulo

Neste capítulo, expusemos os cálculos para a criação do simulador 2, em que variáveis como tipo de área (aberta e fechada) e tipo de linha (visada e não visada) foram levadas em consideração, para uma maior aproximação dos resultados com os valores reais.

O capítulo oferece e descreve os caminhos para a operação do simulador 2, por usuários que, embora lidem com o setor das telecomunicações, não dominam todas as suas modalidades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa investigou e criou um sistema especialisado que, integrando várias áreas do conhecimento (rádio propagação, sistemas irradiantes, transmissão, comutação e infra-estrutura em estações rádio base), com o propósito de produzir e estimar campos eletromagnéticos gerados por estações rádio base na tecnologia CDMA.

Foram criados dois simuladores. O primeiro simulador é uma ferramenta indispensável para o especialista em rádio propagação oferecendo-lhe os seguintes recursos: cálculos, gráficos, especificações de sistema irradiante, localização e infra-estrutura do site.

Objetivando o fornecimento de resultados mais abrangentes e com um número maior de variáveis e, conseqüentemente, com maior aproximação dos valores reais desenvolvemos um segundo simulador com funções em rádio propagação simulando ambientes de propagação em áreas distintas através de cálculos de propagação via rádio em áreas do tipo urbanas e abertas, bem como em áreas onde apresenta propagação em linha visada e não visada. Disponibilizamos para os cálculos três faixas de frequência utilizadas no sistema móvel celular nacional. Apresentamos cálculos de reflexão e conversão de níveis.

O desenvolvimento do sistema especialista é pautado na experiência e no conhecimento e visa fornecer resultados de campos eletromagnéticos de forma rápida e segura em um site de estações rádio base com um custo praticamente zero. Com isso, soluciona-se o problema do pesquisador que não tem acesso aos instrumentos e às antenas para realização de medições, que apresentam custos excessivamente altos. Soluciona-se também o problema da obsolescência dos equipamentos, que são continuamente substituídos pela

inovação tecnológica na área das telecomunicações. O fator obsolescência também nos levou a descartar a construção de um banco de dados para as especificações técnicas dos produtos. Como solução, adotamos o arquivo HTML para importar as informações técnicas atualizadas. Deste modo, os dois simuladores, além de resolverem o impasse criado pela necessidade de modelos de medição dos valores de rádio propagação e pela inacessibilidade a esses modelos, devido ao alto custo dos equipamentos, resolvem também o fator obsolescência seja dos equipamentos seja das informações necessárias para o trabalho de medição. São, portanto, dois mecanismos que escapam às limitações impostas ao pesquisador em telecomunicação.

Com base nos simuladores desenvolvidos, abrem-se novas possibilidades para a medição da rádio propagação e devem, no futuro, promover alvo de novas pesquisas. Entendemos que os dois simuladores possam ser consolidados em um único sistema na web, onde o sistema passaria a funcionar como se fosse uma página da internet disponível para todos, por exemplo: alunos, professores e pesquisadores ou restrita a determinados usuários. As antenas, cabos e torres poderiam ser cadastrados em um banco de dados com as variáveis relevantes, tais como: código, especificações elétricas, mecânicas e fotos. Com o sistema na web poderíamos fazer interações com serviços como o Google Maps que agora já tem o Google Earth dentro do qual poderíamos, através das coordenadas (latitude e longitude) do site, localizar a infraestrutura (torres, antena, edificação) da estação rádio base. Poderíamos contratar um serviço da Google Maps com o objetivo de termos uma melhor resolução e aproximação (altitude) das fotos apresentadas por satélite no território nacional visualizando com maior nitidez o site em estudo.

Não podemos ainda esquecer que o sistema de rádio propagação e antenas envolvem conhecimento denso e especifico de eletromagnetismo que exigem a manipulação de uma quantidade maciça de variáveis para a obtenção de resultados de forma imprecisa ou aproximadas. O simulador é um sistema robusto que funciona como interface do conhecimento, com recursos de cálculo, gráfico e especificações de produto, propondo soluções rápidas e satisfatórias, requerendo do especialista humano sólido conhecimentos na interpretação dos valores apresentados. Em decorrência dos fatos mencionados, poderíamos desenvolver recursos computacionais em um sistema especialista baseado em regras que tentam simular o trabalho de especialistas humanos. Este, porém, é mais um caminho que pode ser trilhado no futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Livros

[1.1]- ALENCAR, Marcelo Sampaio. *Telefonia Celular Digital*. São Paulo: Érica, 2004.

[1.2]- ALENCAR, Marcelo Sampaio & QUEIROZ, Wamberto José Lira. *Ondas Eletromagnéticas e Teoria de Antenas*. São Paulo: Erica, 2010.

[1.3]- BALANIS, Constantine. *Teoria de Antenas: Análise e Síntese*. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

[1.4] – CUNHA, Alessandro Ferreira. *Sistema CDMA*. São Paulo: Érica, 2006.

[1.5] – FARUQUE, Saleh. *Cellular Móbile Systems Engineering*. Boston: Artech House, 1996.

[1.6] – FIORESE, Virgilio. *Wireless: Introdução as Redes de Telecomunicações: Móveis Celulares*. Rio de Janeiro: Brasport, 2005.

[1.7] – FUSCO, Vincent.*Teoria e Técnicas de Antenas*. São Paulo: Bookman, 2005.

[1.8] – HARTE, Lawrence. *Introduction to Code Division Multiple Acess (CDMA*. NC: Althos Publishings , 2004.

[1.9] – HAYKIN, Simon. *Sistemas de comunicação analógico e Digital*. São Paulo: Bookman, 2004.

[1.10] – HAYKIN, Simon. *Sistemas Modernos de Comunicações Wireless*. São Paulo: Bookman, 2008.

[1.11] – HOLMA, Harry. *WCDMA for UMTS*. John Wiley & Sons Ltd, 2000.

[1.12] – JESZENSKY, Paul Jean Etinne. *Sistemas Telefônicos*. Barueri/SP: Manole, 2004.

[1.13] – LEE, Jhong Sam e MILLER, Leonard. *CDMA Systens Engineering Handbook. Boston:* Artech House , 1998.

[1.14] – MEDEIROS, Júlio Cesar de Oliveira. *Princípio de Telecomunicações: Teoria e prática*. São Paulo: Érica, 2005.

[1.15] – MIYISHI, Edson &SANCHES, Carlos Alberto. *Projetos de Sistemas de rádio*. São Paulo: Érica, 2005.

[1.16] – NASCIMENTO, Juares. *Telecomunicações*. São Paulo: Makron Books, 2004.

[1.17] – POOLE, Ian. *Cellular Communications Explained*. Amsterdam: Newnes , 2006.

[1.18] – RAPPAPORT, Thodore. *Comunicações sem Fio Princípios e Prática*. São Paulo: Pearson Education, 2008.

[1.19] - RIBEIRO, José Antonio. *Propagação das Ondas Eletromagnéticas: Princípio e Aplicação*. São Paulo: Érica, 2004.

[1.20] – RIBEIRO, Jose Antonio Justino. *Engenharia de Microondas*. São Paulo: Érica, 2008.

[1.21] – RIOS, Luiz Gonzaga & PERRI, Eduardo Barbosa. *Engenharia de Antenas*. São Paulo: Blucher.

[1.22] – SOARES NETO, Vicente.*Telecomunicações: Sistema de Modulação*. São Paulo: Érica, 2005.

[1.23] – SMITH JR., Albert A. *Rádio Frequency Principles and Applications*. Nova York. IEEE PRESS, 1998.

[1.24] – SIWIAK, Kazimierz. *Rádio Propagation and Antennnas for Personal Communications*. Boston: Artech House, 1995.

[1.25] – SVERZUT, José Umberto. *Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS*. São Paulo: Érica, 2005.

[1.26] – TSE, David and VISWANATH, Pramod. *Fundamentals Of Wireless Communication*. Cambridge, 2005.

[1.27] – VANGHI, Damnjanovic. *The CDMA 2000 System for Mobile Communications: 3G Wireless Evolution*, Nova Jersey: Prentice-Hall PTR, 2004.

[1.28] - VITERBI, Andrew. *CDMA Principles Of Spread Spectrum Communication*. Nova York: Adison – Wesley Wireless Communication Series.

[1.29] – WOENER, Brian, RAPPAPORT, Theodore, REED, Jeffrey. *Wireless Personal Communication*. Coston: Kluwer Academic Publishers.

[1.30] – YANG, Samule C. *CDMA RF System Engineering*. Boston: Artech House, 1998.

[1.31] –YEE, William C. Y. *Móbile Cellular Telecommunications*. Nova York: McGRAW-HILL, 1995.

[1.32] – YEE, William C. Y. *Wireless Celular Telecommunications*. Nova York: Mcgraw-Hill, 2005.

[2] – MANUAIS

[2.1]- KATHREIN Mobilcom Brasil, Sâo Paulo:2005.

[2.2]- Engenharia de Sistemas de Rádios Digitais / Centro de Treinamento NEC DO BRASIL, São Paulo.

[2.3]- Introdução ao Sistema móvel Celular Digital CDMA / Centro de Treinamento NEC DO BRASIL, São Paulo.

[2.4]- Engenharia de Sistema CDMA / Centro de Treinamento NEC DO BRASIL, São Paulo.

[2.5]- Hardware CDMA / Centro de Treinamento NEC DO BRASIL, São Paulo.

[2.6]- PEREIRA FILHO, Mario Leite. Poluição Eletromagnética. São Paulo: IPT, 2002.

[2.7]- Sistema de Comunicações Móvel II. Pós -Graduação em Engenharia de Redes e Sistemas de Telecomunicações, INATEL.

[2.8]- Engenharia de Sistemas de Rádios Digitais. Centro de Treinamento. NEC DO BRASIL.

[2.9]- Introdução ao Sistema móvel Celular Digital CDMA. Centro de Treinamento NEC DO BRASIL.

[3] Catalogo

[3.1] Base Station Antennas for Mobile Communications Kathrein,São Paulo: 2008.

[4] - PESQUISA NA INTERNET

[4.1] - http://www.cpqd.com.br/site/ItemView.php?cd=708

[4.2] - http://www.cpqd.com.br/monitor/americana/index2.html

[4.3] – http://www.brasilsat.com.br

[4.4] – http://www.kathrein.com.br

[4.5] – http://www.rfsworld.com

[4.6] - http://www.andrew.com

[4.7] – http://www.anatel.gov.br

[4.8] – http://www.teleco.com.br

[4.9] – http://www.mc.gov.br

[4.10] – http://www.cdmaonline.com

[4.11] – http://www.wirelessweek.com

[4.12] – TRINDADE, Diamantino e TRINDADE, Laís. “As telecomunicações no Brasil: do 2º. Império até o regime militar”. http://fdi.com.br , acessado em setembro de 2010.

[5] - RECOMENDAÇÕES

[5.1]- Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Eletric, Magnetic, and Electromagnetic Fileds (up to 300 GHz)
ICNIRP, 2002

[5.2]- IEEE Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields—RF and Microwave /IEEE Std C95.3-1991

[5.3]- IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Rádio Frequency Electromagnetic Fields With Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz–300 GHz
IEEE International Committee on Electromagnetic Safety
(Standards Coordinating Committee 28 on Non-Ionizing Radiation)
Approved 11 December 2002
IEEE-SA Standards Board

[5.4]- IEEE Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields—RF and Microwave /IEEE Std C95.3-1991

[5.5] - RNI do CPQD

Apêndice – I

1 – Estrutura de Células

Damos o nome de célula ou site a área geográfica iluminada por uma estação rádio, dentro da qual a recepção do sinal rádio atende às especificações de sistema. A figura .1 mostra a estrutura básica de uma célula. [4.8]

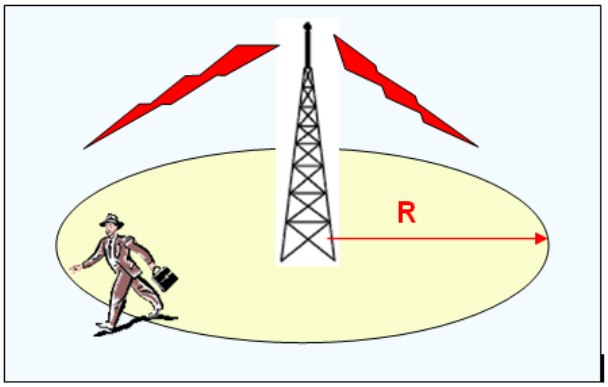


Figura 1- Estrutura básica de uma célula.

Figura 1- Estrutura básica de uma célula.

Em um site de telefonia celular, o usuário recebe sinal de rádio através do sistema irradiante o qual é responsável pela área de cobertura. Toda a área geográfica em que isso acontece pertence ao site.

Se o terreno onde está situada a estação rádio fosse plano e liso, a área de cobertura seria circular. Entretanto, devido aos morros e outras irregularidades do terreno, árvores e prédios, a forma dessa área é uma figura irregular devido as sombras causadas por essas irregularidades. [1.12]

As dimensões dessa área dependem da altura da torre, do grau de urbanização e altura das edificações, grau de arborização das ruas, inclinação do

terreno, das irregularidades naturais do relevo e ainda da potência de transmissão e ganho das antenas. [1.12]

A representação gráfica da área de cobertura de uma célula por um hexágono é apenas fictícia. Este formato de celular não tem como ser realizado na prática. A forma hexagonal de células é utilizada pelos projetistas de sistemas celulares para simplificar o seu planejamento, pois o hexágono é a forma geométrica, que neste caso, mais pode se aproximar de um círculo ideal, que representa irradiação uniforme de potência em todas as direções a partir da ERB (cobertura omnidirecional) [1.12]

No mundo real a geometria da distribuição celular é substancialmente alterada, isto porque a propagação do sinal está longe de ser uniforme. A área de cobertura real de uma célula é na verdade uma forma geométrica irregular, pois a propagação depende de vários fatores como: obstrução por morros, declives de terrenos, lagos, edificações, vegetação, etc. [1.12]

1.1 – Células Omnidirecionais

Nas células omnidirecionais, a ERB é equipada com uma antena omnidirecional, que transmite a mesma potência em todas as direções, formando assim uma área de cobertura circular, cujo centro é a própria ERB. Para efeitos de representação gráfica, esta célula é representada por um hexágono. A figura 2 apresenta uma célula omnidirecional. [1.24]

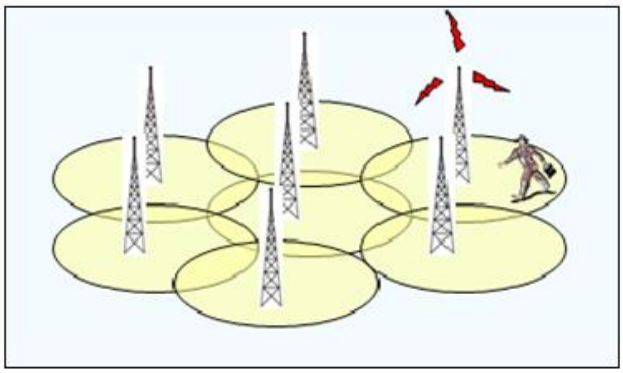


Figura 2 - Célula omnidirecional.

1.2- Células Setorizadas

Nas células setorizadas, a ERB é equipada com antenas diretivas do tipo painel (base station), de tal forma que cada uma cubra uma determinada área.

Na figura 3 temos uma situação em que um primeiro grupo de canais é alocado na antena que cobrirá a primeira célula, um segundo grupo de canais é alocado na segunda antena que iluminará a segunda célula e os canais restantes alocados na terceira antena, fazendo com que a ERB cubra, finalmente, as três células. [1.24]

Nem sempre a setorização ocorre desta forma. Pode acontecer que se queira cobrir apenas uma avenida e nesta condição será empregada apenas uma célula setorizada. São utilizados três hexágonos para representar células setorizadas, com a ERB localizada na confluência destes três hexágonos.

Uma cobertura completa implicará em um aglomerado de células, permitindo assim a cobertura da área de interesse. [1.24]

1.3 – Conglomerado de Células

A forma como o total de canais é subdividido entre as várias células dá origem ao cluster ou conglomerado de células, que é o conjunto de células contíguas que possuem juntas o total de canais do sistema. A figura 3 mostra um aglomerado de células com uma composição de k = 7 [1.24].

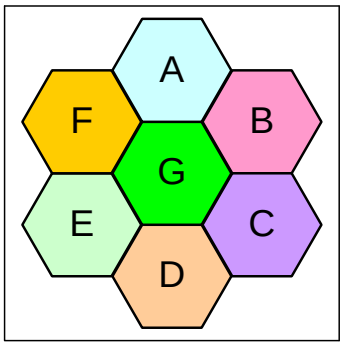


Figura 3 - Setorização

A escolha do tipo de cluster ou padrão de reuso a ser adotado no sistema depende de algumas considerações. Dado um número fixo de canais, eles serão distribuídos pelas células que compõem o cluster. Desta forma, quando mais células tiver um cluster menos canais terá cada uma das células e vice-versa. Por outro lado, quanto menos células tiver um cluster, menores serão as distâncias entre células de mesmos canais e, consequentemente, maior a probabilidade de interferências de co-canal entre essas células. [1.24]

1.4 – Reutilização de Frequência

Para reutilizarmos uma frequência em outra área é necessário garantir que o sinal produzido em uma área esteja muito atenuado ao atingir outra área.

Em um Sistema Celular, a técnica de reuso de um mesmo conjunto de canais de frequências é um dos fatores de sucesso para se conseguir atender ao

tráfego, com um espectro de frequência limitando, em extensas áreas de cobertura com um grande número de Estações Rádio base. [2.3]

Na elaboração de um projeto para SMC deve-se ter uma definição preliminar do número de células para que seja obtida a melhor solução para o atendimento ao tráfego. Para tal, deve-se levar em conta o estudo da concentração de tráfego, padrões de reuso de frequência, número de canais disponíveis, áreas de cobertura de cada ERB. [2.3]

No tocante aos padrões de reuso de frequência, devemos levar em consideração que a divisão de um espectro finito em diversos conjuntos de canais, limita, naturalmente, o número de frequências disponíveis. Desta forma, lança-se mão da técnica de “divisão celular” para se obter um incremento no número de canais e consequentemente, no tráfego. Tal técnica origina, assim, o reuso de frequências. Na figura 4 temos um exemplo de reuso de frequência com K = 7. [2.3]

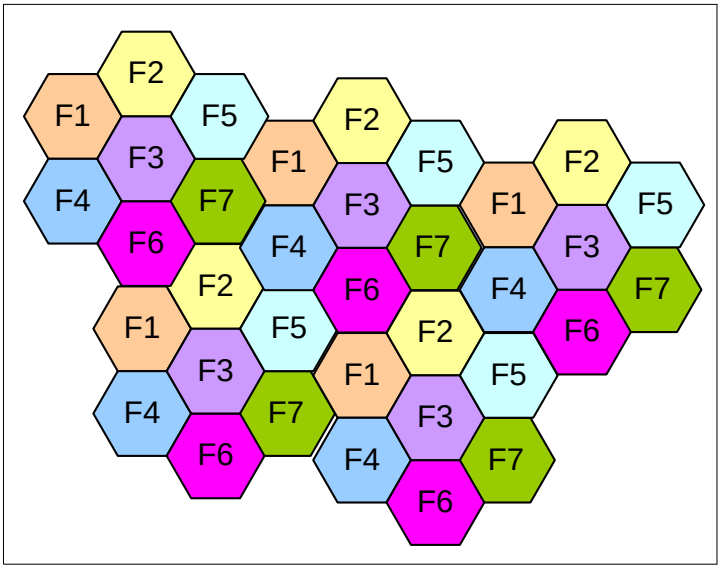


Figura 4 - Reuso de frequência com k = 7

1.5 – Relação Distância e Raio (D/R)

A distância de reuso de canais D depende do raio de uma célula R e do número k de células em um cluster (padrão de reuso de Frequência). Para K=7, esta relação é consistente quando C/I $\geq$ 18 dB. Este requisito é obtido de dados empíricos, onde para C/I $\geq$ 67% dos usuários consideram a qualidade do sinal de áudio boa ou excelente em 90% da área de cobertura. [2.3]

1.6 – Interferência Co-Canal

O conceito mais importante dos sistemas celulares é o de reuso de canais, que incrementa a capacidade de tráfego do serviço. Entretanto, o reuso de frequência causa também o surgimento de interferência co-canal. A figura 5 mostra o caso de interferência no co-canal.

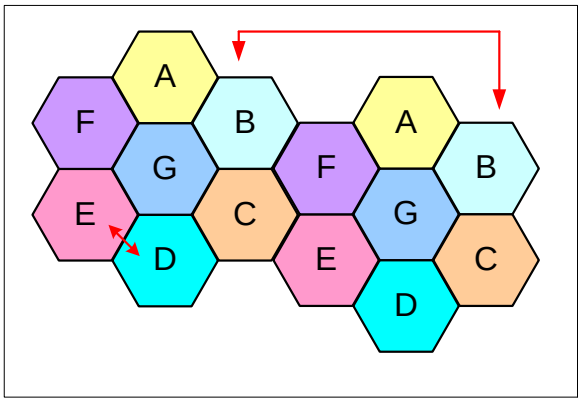


Figura 5 - Interferência no co-canal.

Mostramos que este critério é obtido quando C/I é pelo menos 18 dB em pelo menos 90% da área de cobertura. Este passou a ser, portanto, o padrão da indústria para proteção contra interferência no sistema AMPS. [2.3]

O fato é que em determinadas situações, medidas terão que ser tomadas objetivando o controle de interferência. Dentre estas medidas, tem-se, por exemplo:

- utilização de antenas diretivas;
- redução de altura da antena no local da ERB interferente;
- downtilt das antenas da ERB;
- ajuste dos parâmetros de handoff;
- adição de novas células;
- modificação do plano de frequência;
- redução da potência efetiva irradiada (ERP) na ERB interferente;

Apêndice – II

2 - Métodos de Acesso nos Sistema Móveis Celular

2.1 - Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência (FDMA)

Nos sistemas analógicos a multiplexação é feita na frequência que designamos como acesso múltiplo por divisão da frequência (FDMA). Neste tipo de acesso o espectro de frequências disponíveis é dividido em faixas relativamente estreitas, que são chamados canais. Cada um destes canais é alocado a um usuário no momento de realização da chamada. No processo da transmissão, cada sinal de informação f(t) a ser enviado é modulado a uma portadora distinta W (figura 6). Todas as portadoras moduladas são combinadas e transmitidas através de uma antena. No processo da recepção fazemos o inverso, onde os sinais de cada usuário são separados por filtros e demodulados de onde é extraída a informação. Cada canal de rádio ocupa uma largura de banda de 30 kHz. [2.2]

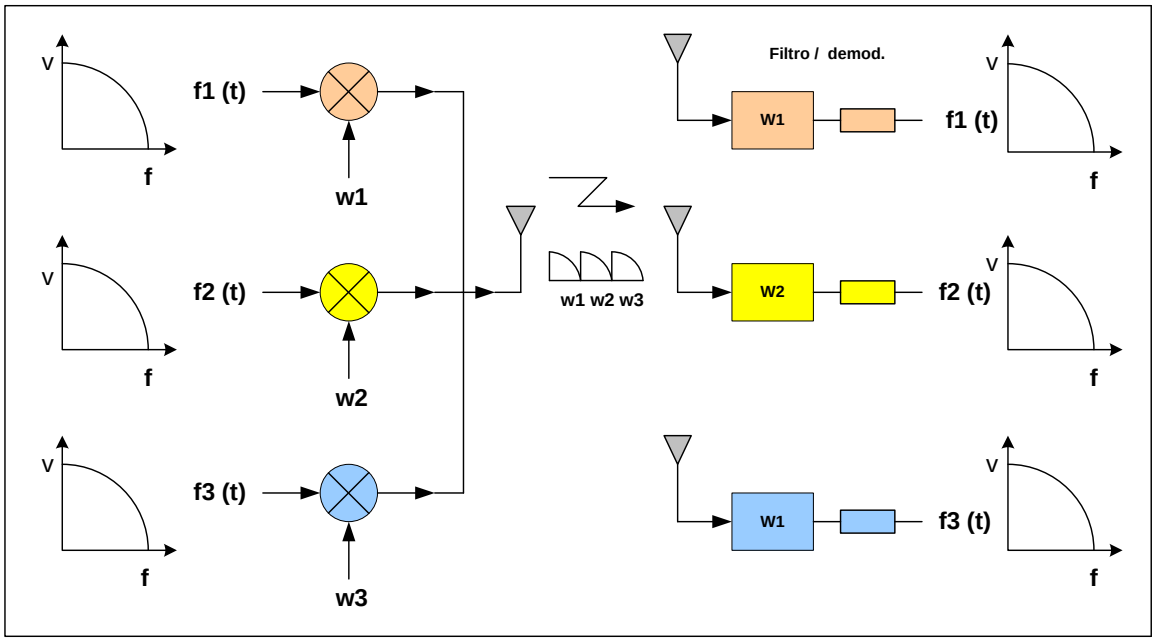


Figura 6 - Acesso Múltiplo por divisão de frequência.

2.2 - Acesso Múltiplo por Divisão do Tempo (TDMA)

Uma outra possibilidade é o acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA). Este tipo de acesso é baseado no teorema da amostragem. Um sinal, limitado em faixa, pode ser definido por um conjunto de amostras tomadas a intervalo de1/ 2.fmax, em segundos, onde fmax é a frequência máxima do canal telefônico (4 kHz). Portanto basta transmitir as amostras do sinal em um número finito de instantes para que ele seja reconstituído no receptor. Amostras de outros sinais podem ser intercaladas na transmissão e também recuperadas na recepção através de um detector síncrono adequado. A interferência entre os canais adjacentes é limitada por este sincronismo, que permite a captação da energia de um dado do sinal, recebido no outro tempo correto. Observamos que as três informações f(t) na transmissão e recepção estão alocadas no tempo (t) e compartilham com a mesma portadora (Wc) proporcionando uma melhor otimização do espectro de frequência e obtendo como resultado um aumento de canais de RF no sistema. A figura 7 mostra o processo TDMA. [2.2]

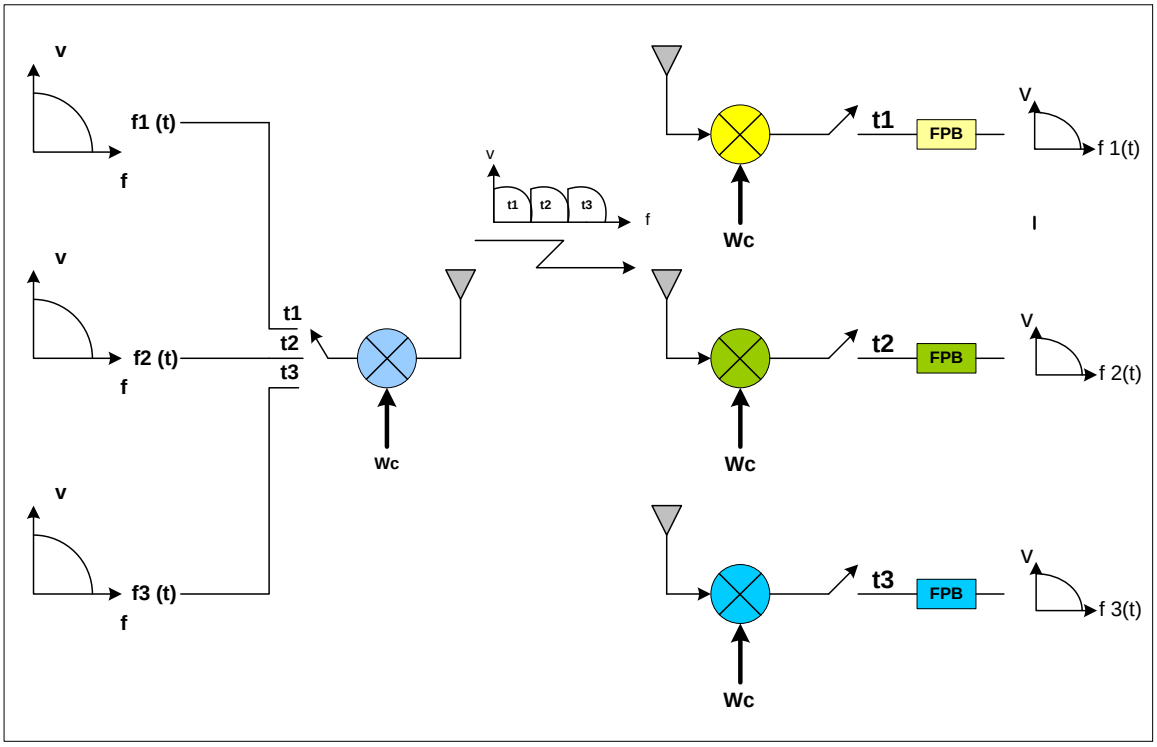


Figura 7 – Acesso múltiplo por divisão de tempo

2.3 - Acesso Múltiplo por Divisão de Código (CDMA)

Neste tipo de acesso todos os usuários utilizam simultaneamente uma portadora com Wc(t) para a comunicação. Sendo que desta forma não é possível diferenciá-los por nenhum tipo de filtragem no domínio da frequência (FDMA) ou do domínio do tempo (TDMA). A separação dos usuários é feita através de um código C(t) de seqüência pseudo aleatória associado a cada um deles. A minimização da interferência entre usuários é obtida através da escolha criteriosa dos códigos utilizados. Este tipo de acesso é baseado em técnicas de espalhamento espectral (Spread Spectrum). Este tipo de acesso proporciona um maior número de usuários por portadora tendo como vantagem a melhor utilização do espectro de frequência. A figura 8 mostra o processo de transmissão e recepção do sistema CDMA. [2.4]

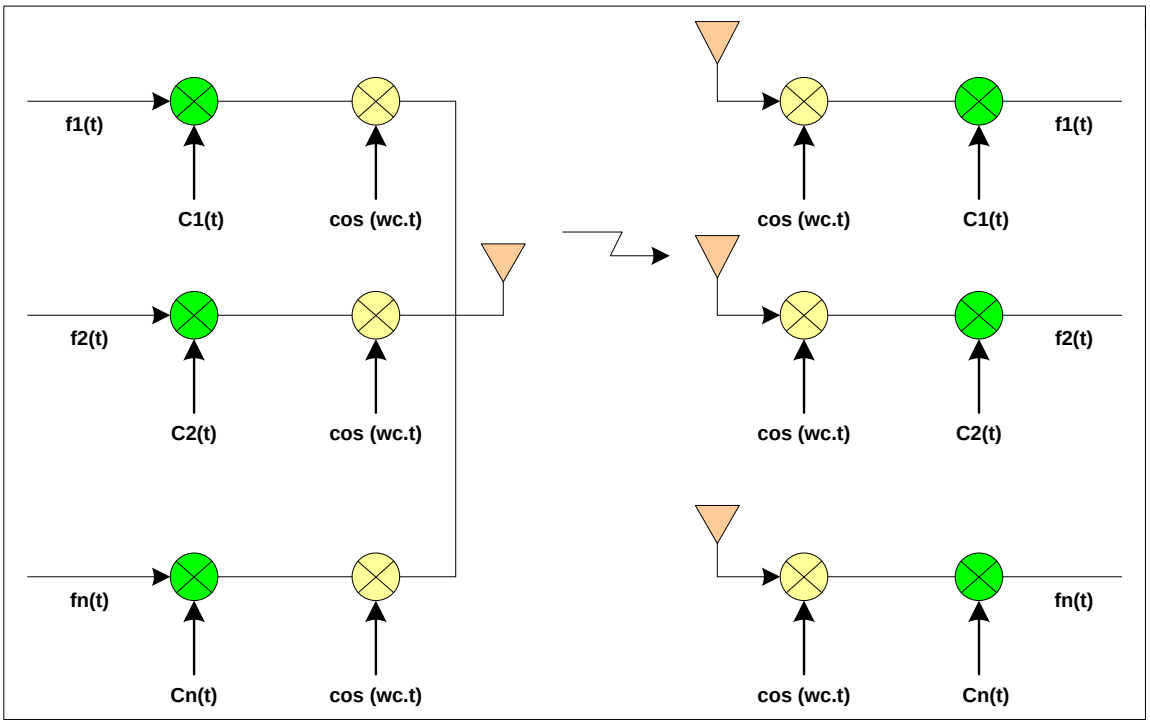


Figura 8 - Acesso múltiplo por divisão de código

Apêndice - III

3– Tilt Elétrico e Mecanico

O tilt ou inclinação da antena em direção ao solo é responsável pela área de cobertura ou iluminação da célula. Empregamos dois tipos de tilt: elétrico e mecânico o qual por sua vez podemos ajustar em campo. A figura 9 mostra o ajuste do tilt elétrico em três graus.

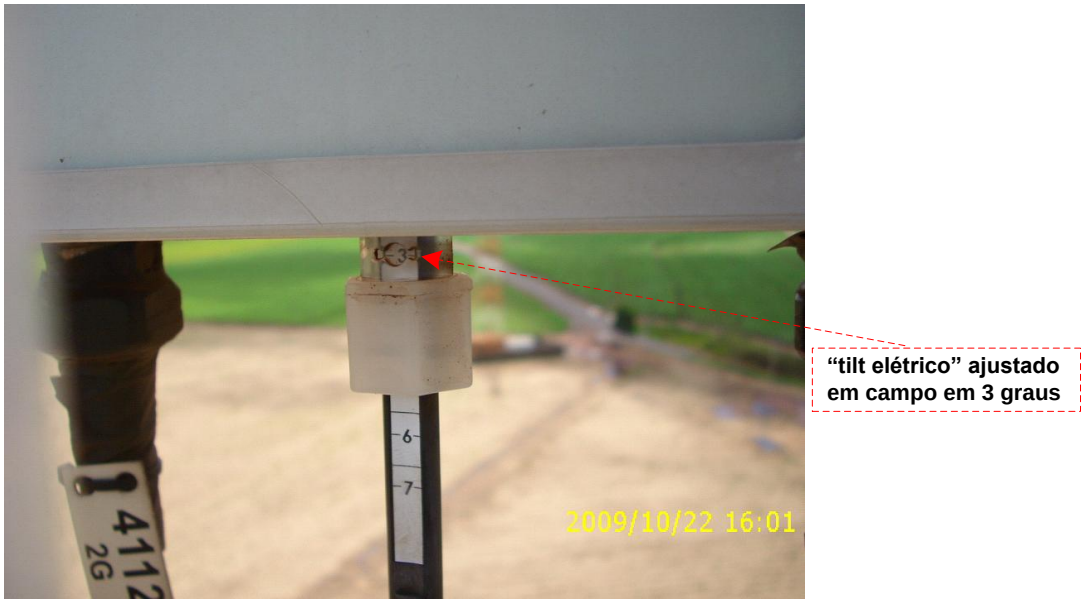


Figura 9 – Tilt elétrico

Realizamos o tilt mecânico através de um instrumeto chamado clinometro. A figura 10 a seguir apresenta a figura do instrumento.

Tilt mecânico ajustado com o "clinometro" em campo = 3,7 graus (90 – 86,3)

Figura 10 – Clinometro.

Apêndice - IV

4- Especificações de Instrumentos de Medição

4.1 – Analisador de Espectro

Cotação

Agilent Technologies

Nº da Cotação	Data da Cotação	Data de Vencimento da Cotação
6500021701-1	19-Jul-2010	18-Ago-2010

Acordo / Prazo de Vigência	País de Destino Final Brasil
Condição de Pagamento Vencto 30 dias apos faturamento	Incoterms DDP-Duty Paid Brazil

Endereço do Cliente:

Contato: Pedro Kiszka Júnior Kiszka
Prof. da Engenharia de Telecomunicações - UNIP
011 - 9658-3561
São Paulo, São Paulo 04061-002
Brasil

Telefone: 011 - 2578-8937
E-mail: pkjkiszka@uol.com.br

Atendimento ao Cliente/Enviar pedido para Favor de dirigirse a:

Contato		Agilent Technologies Brasil Ltda
Telefone:	55 11 4197 3800	Al. Araguaia, 1142 – Alphaville
Fax:	55 11 4197 3800	06455-940 – Barueri – SP
E-mail:	tmobrasil@agilent.com	Brazil

Item	Produto/Descrição	Preço Unitário	Ajuste	Preço Liquido Unitário	Qtd.	Preço Total R$
1	E4443A Analisador de Espectro PSA 3HZ-6.7GHz. Type N Connector US - English localization Return to Agilent Warranty - 3 years	131.371,62	0,00	131.371,62	1	131.371,62
	E4443A-115 512 MB user memory	0,00	0,00	0,00	1	0,00
	E4443A-111 USB device side I/O interface	0,00	0,00	0,00	1	0,00
	Entrega Estimada (semanas): Fale conosco				**Preço Total do Item**	131.371,62

O item cotado acima é um produto com configuração padrão. Esse produto pode ser personalizado e configurado para conter as seguintes opções, para atender suas necessidades. Essas opções e seus preços não estão incluídos no total do item e da cotação.

89601A - 89600 Vector Signal Analysis Software: Node Locked License	Fale conosco
89600 Basic Vector Signal Analysis: Option 200	15.419,00
E4438C-506 Frequency range from 250 kHz to 6 GHz	65.019,00
E4443A-202	14.447,00
E4443A-204	18.175,00
E4443A-219	13.792,00
E4443A-230	911,00
E4443A-266	Fale conosco
E4443A-B78	15.715,00
E4443A-BAC	8.616,00
E4443A-BAF	18.424,00
R-50C-011-3	1.753,31

	Preço Total de Lista	131.371,62
	Ajuste Total	0,00
	Preço Total (Exclui IPI/ICMS)	R$ 131.371,62

Para enviar sua Ordem de Compra ou solicitar uma Cotação formal com todos os impostos inclusos, favor contatar: order_sar@agilent.com

A menos que esteja indicado de forma diferente, os preços não incluem quaisquer impostos e são válidos para entrega na modalidade DDP (Delivery Duty Paid, Incoterms 2000) no território brasileiro, e incluem frete e seguro.

Brasil Home > ... > Analisadores de Sinal e de Espectro > Analisador de sinais MXA >

E4443A PSA Spectrum Analyzer, 3 Hz - 6.7 GHz

Status do Produto: Produto Disponível | Com Suporte

Vendido por: Agilent • Saiba mais...

Product Upgrades: Hardware, Software & Firmware Upgrades

Visão geral | Produtos relacionados | Biblioteca ▸ | Comprar ▸

Principais especificações

Performance

- +/-0.19 dB absolute amplitude accuracy
- -155 dBm (-168 dBm w/preamp) displayed average noise level (DANL)
- -118 dBc/Hz phase noise at 10 kHz offset
- 81 dB W-CDMA ACLR dynamic range

Analysis bandwidth

- Standard 10 MHz analysis bandwidth
- Optional 40 or 80 MHz analysis bandwidth to capture and measure complex signals. **View:** 40/80 MHz bandwidth digitizers online demo!
- -78 dB (nominal) third order intermodulation for 40 or 80 MHz analysis bandwidth
- Up to 300 MHz analysis bandwidth for calibrated VSA measurements

Flexibility

- Flexible platform with 16 optional, easy-to-use built-in measurement personalities and hardware options
- PowerSuite enables one-button power measurements for over 20 radio formats PSA PowerSuite One-Button Power Measurements

Data Sheet 2008-11-15 | PDF 234 KB | pedir uma cópia

4.2 – Medidor Seletivo de alta Frequência de Campo Eletromagnético.

ZELL - COTAÇÃO SRM-3006

De:

Vendas02 Zell

Catálogo - ... .pdf **448.62 KB**
Baixar todos os anexos
Ver miniaturas

Não mostrar mais esta mensagem
Cancelar Continuar

Boa Tarde Pedro,

Conforme solicitado, segue a **Cotação do SRM 3006 - Medidor de Campos Eletromagnéticos**:

VALOR - R$ 210.456,32
ENTREGA - 90 DIAS
PRAZO PAGTO. - 28 DIAS
GARANTIA - 12 MESES
RETIRA POR CONTA DO CLIENTE

Anexo o Catálogo Técnico para sua avaliação.

Se desejar maiores informações técnicas, o responsável pela tecnologia é o Técnico Carlos Carvalho - carlos@zell.com.br.

Qualquer dúvida, estou á disposição.

Att.

Thaiza Fablício Silva
Departamento Comercial
Zell Ambiental Ltda.
Tel: *55 11 2187-9367 / Fax: *55 11 2187-9360
www.zell.com.br
vendas02@zell.com.br

SRM-3006

O mais novo conjunto de medição de frequência seletiva para o meio ambiente e para medidas de segurança em campos eletromagnéticos. Com as suas antenas de medição isotrópica (não-direcional), o SRM 3006 cobre toda uma frequência de gama entre 9 kHz a 6 GHz. Para investigações de segurança próximo ao range de domínio das redes transmissoras de onda longa, através de medições em emissoras de rádio e TV (DVB-T) e até ao nível de exposições de última geração em serviços de comunicação móvel como o EDGE, Wi-Fi ou WiMAX.

Completo e compacto sistema de medição

- Para uso externo;
- Operação de bateria;
- Reposição de bateria In-situ.

Antena de medição de 9 kHz até 6 GHz
• Medida isotrópica;
• Exibição direta dos resultados;
• Avaliação de conformidade padrão, para a determinação da exposição de acordo com a norma IEC 62232 ou EN 50492.

Software para PC
• Preparação Medição;
• Gerenciamento dos resultados;
• Relatórios de ensaio customizados.

SRM-3006, medidor de radiação seletiva, foi especialmente desenvolvido com um sistema de medição de frequência seletiva para problemas de segurança em campos eletromagnéticos. Os modos de funcionamento são desenvolvidos sob medida para as seguintes aplicações:
• Análise de espectro
• Avaliação da segurança
• UMTS P-CPICH Demodulação
• Level Recorder
• Escopo

O SRM fornece suporte ao usuário através de recursos automatizados de confiança, como a seleção do range ou a resolução adequada à largura de banda (RBW)*.

Os resultados são exibidos em unidades físicas, tais como V/m, A/m, W/cm2, ou em quantidades logarítmicas como dBµV, ou diretamente como uma percentagem do valor limite permitido. Mais importantes: O SRM ainda pode converter os resultados, mesmo após a conclusão da medição.

SRM – a solução bem pensada para medidas de segurança nos campos eletromagnéticos. Bateria operada, mecanicamente robusta e protegida da radiação.

*É possível definir todos os parâmetros individualmente como qualquer outro analisador de espectro padrão. Confira os detalhes e especificações.

Aplicações

Medidas de segurança ocupacional.
O equipamento e a antena são robustos e protegidos, eles poder ser transportados para qualquer lugar e também pode ser operado com a utilização de luvas. Graças a sua alta imunidade a radiação eletromagnética, é possível realizar medições confiáveis mesmo nas proximidades de campos de alta frequência.

Medição dos valores de emissão em lugares públicos.
O SRM produz relatórios de ensaio imediatamente no local, eliminando os erros de transmissão. O instrumento exibe as normas e registra automaticamente a data, hora e coordenadas do GPS, também salva comentários escritos ou falados, por exemplo, sobre os acontecimentos durante a medição ou as condições do ambiente.

www.narda-sts.com

narda Safety Test Solutions
an L3 Communications Company

Selective Radiation Meter

SRM-3006

Selective measurement of high frequency electro-magnetic fields

Complete, easy to use test system, consisting of a base unit and measuring antennas, for non-directional detection of fields and their sources in the frequency range from 9 kHz to 6 GHz

- Measurements conforming to ICNIRP and regional standards with results displayed directly in terms of the permitted limit value
- Fast, reliable results using predefined measurement routines, setups, and automatic settings
- PC software for customizing tables and measurement routines, and subsequent evaluation and handling of large quantities of measurement data
- Suitable for outdoor use: Radiation protected, robust, splash-proof, ergonomically designed; uses exchangeable rechargeable batteries; equipped with integrated GPS and voice recorder
- Signals analyzed using application oriented operating modes and special evaluation functions
- Direct numerical, graphical or tabular display of results; large resolution bandwidth avoids conversions
- Editable tables for automatic correlation of results with telecommunications services (e.g. broadcasting, GSM, WiMAX)

4.3 - Software de Medição de Alta Frequência

ZELL - COTAÇÃO SRM-TS

Software de medição para alta freqüência

Bom Dia Pedro,

Segue a **Cotação do SRM-TS**:

VALOR - R$ 21.435,81 + 5%IPI

ENTREGA - 90 DIAS

PRAZO PAGTO. - 28 DIAS

GARANTIA - 24 MESES

RETIRA POR CONTA DO CLIENTE

Qualquer dúvida, estou á disposição.

Att.

Thaiza Fablício Silva

Departamento Comercial

Zell Ambiental Ltda

Tel: *55 11 2187-9367 / Fax: *55 11 2187-9360

www.zell.com.br

vendas02@zell.com.br

Especificação do Software

SRM-TS

O software PC “SRM-TS” é outra opção que a NARDA disponibiliza ao mercado e contém as mesmas configurações do software “SRM-Tools”. Todas as funções do “SRM-Tools” estão agregadas ao "SRM-TS". O software permite:

• Visualização dos resultados das medidas salvas.
• Análise off-line dos resultados salvos.
• Controle remoto do SRM-3000 (incluindo sinais em tempo real no

PC).
• Gerenciamento do banco de dados de medidas.
• Exportação conveniente dos dados de medidas para o Microsoft Office.
• Impressão direta dos resultados medidos.
• Screenshots das interfaces do usuário similar do instrumento (opção de copiar e colar).

4.4 – Antenas

Cotação
Antenas
Yagi
Seletiva

O
Número
1

O NÚMERO UM DISTRIBUIDOR DE ANTENAS
Rua Aurora, 148 – Cep 01209-000 – Santa Ifigênia
São Paulo – SP – TEL/FAX: (0xx11) 3331- 6844

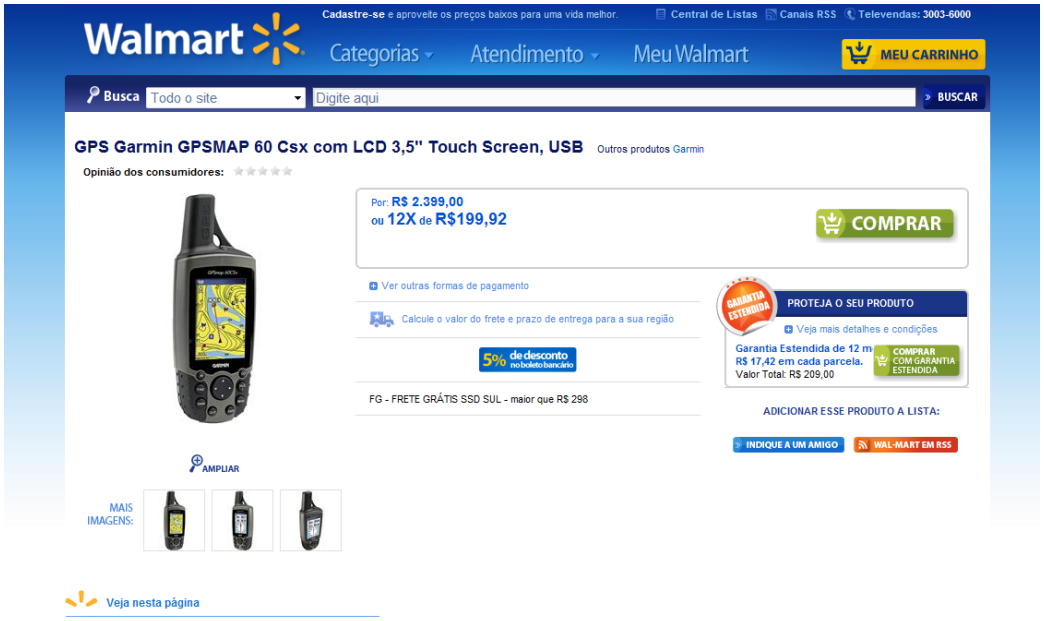
INSC. EST. 149.939.427.116 - C.N.P.J. 07.794.273/0001-02

A/C Sr
O NUMERO UM DISTR DE ANT E CIRC FECH DE TV. Conforme solicitação de V.S.as temos o prazer de enviar-lhes orçamento de Produtos e/ou Serviços.

QTD	DESCRIÇÃO	R$ UNIT	R$ TOTAL
1	ANTENA CELULAR CF 814 AQUARIO	R$ 85,00	R$ 85,00
1	ANTENA CELULAR CF 817 AQUARIO	R$ 145,00	R$ 145,00
1	ANTENA CELULAR CF 820 AQUARIO	R$ 190,00	R$ 190,00
1	ANTENA CELULAR CF 914 AQUARIO	R$ 85,00	R$ 85,00
1	ANTENA CELULAR CF 917 AQUARIO	R$ 145,00	R$ 145,00
1	ANTENA CELULAR CF 920 AQUARIO	R$ 190,00	R$ 190,00
1	ANTENA CELULAR CF 1817 AQUARIO	R$ 140,00	R$ 140,00
1	ANTENA CELULAR CF 1917 AQUARIO	R$ 180,00	R$ 180,00

TOTAL
FORMA DE PAGAMENTO **ACOMBINAR**
GARANTIA **01ANO**

4.5 – GPS



4.6 – Bussola Digital

Bússola Digital p/ Veículos e Barcos 2111 - CSR | Código do Produto:2581767

Americanas.com:
R$ 179,90

4.7 - Binóculo

Binóculo Leidory 8-24x50 BK

de: ~~R$390,00~~
por: R$315,00
economize R$ 75,00

CLIQUE PARA AMPLIAR

Pagamento
100% SEGURO

O Binóculo LEIDORY 8-24X50 - é um binóculo com ótica e qualidade impecáveis. Com design elegante, possui ótima portabilidade, estabilidade de imagem, proporcionando um uso prazeroso e confortável. Pode ser usado em diversos lugares, tanto no uso profissional, como no lazer. Seu conjunto ótico, multicoated com lentes verdes BS com tratamento UV, garantem imagens perfeitas e claras, sem nenhuma distorção que trazem a perfeição das formas aos seus olhos. Seu zoom variável de 8 a 24 vezes, produzem uma sensação de aproximação, superior aos binóculos mais potentes existentes. Sua ótima portabilidade, permite o conforto no uso, não provocando no usuário, o cansaço do binóculos tradicionais. Sua focagem central, é precisa e suave, para ambas as objetivas. Seu IPD, permite um ajuste perfeito aos olhos. É todo emborrachado, proporcionando um manuseio seguro, podendo ser usado em praticamente todas as condições climáticas.

Indicações de uso:
Sua versatilidade, permite o uso com excelente qualidade em diversas atividades, especialmente em observações da natureza, observações de pássaros, e astronomia. Pode também ser usado com muita eficiência em vigilância, serviços de inspeções de pontes e antenas e observação em geral.

Apêndice – V

5.1- COTAÇÃO DE LAUDO RÁDIOMÉTRICO

5.1.1- ABRICEM

Abricem

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

1/3

P375/2010/DE São Paulo, 30 de Setembro de 2010.

À
UNIP
At. Sr. Pedro Kiszka Jr

Ref.: Proposta Técnica Comercial

Objeto: Cotação para emissão de Laudo Radiométrico Medido.

A **ABRICEM** é a única instituição do país que está credenciada, pelas Faculdades de Medicina e de Saúde Pública da USP, INPE, ANATEL e pelo INMETRO, sendo capacitada para emitir certificado de qualidade e autenticidade quanto ao risco à saúde da exposição a radiações não ionizantes, em conformidade com:

- Protocolos de avaliação de riscos sanitários (Faculdades de Medicina e de Saúde Pública da USP).
- Metodologia de avaliação de campos elétricos e magnéticos (INPE).
- Limites definidos pelo ICNIRP e adotados pela WHO.
- Termos da Resolução 303 da ANATEL.
- Parceria com o InMetro.

A **ABRICEM** é uma instituição sem fins lucrativos, e tem como uma de suas especializações, a emissão de Laudos Radiométicos para Estações Rádio Base de Telefonia Celular (ERBs).
Durante seus 20 anos de atuação, já emitiu mais de quinze mil Laudos Radiométricos, entre teóricos e práticos, para todos os fabricantes e operadoras do Sistema de Telefonia Celular.
Como Associação somos totalmente isenta.
A ABRICEM é formada por especialistas oriundos de várias universidades, tais como: USP, UNICAMP e outras, tanto no seguimento da Engenharia como também da Medicina.
Também mantemos convênio com o INPE/LIT- Laboratório de Integração e Testes do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
Dessa forma, garantimos que todos os nossos Laudos tenham a credibilidade já reconhecida em todo território nacional.

OBJETIVOS
Emissão de **Laudo Radiométrico e Emissão de Certificado de Conformidade,** para 1 Estação Rádio-Base com Limites de exposição de radiação, instalada na Cidade de São Paulo, em atendimento à Resolução nº 303 da ANATEL.

AL. DOS GUATÁS, 477 - CEP 04053-041 – PLAN. PAULISTA – SÃO PAULO - SP - TELEFONE:(011) 5071-4433

e-mail: abricem@abricem.com.br

METODOLOGIA

Laudo Medido

A avaliação do ambiente eletromagnético através de medições no local visa demonstrar o atendimento aos limites estabelecidos na regulamentação aplicável, e é efetuada por meio de medições e/ou simulações matemáticas diretas dos CEMRF (Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos na faixa de RádioFreqüências de 9 kHz a 300 GHz) com a estação em pleno funcionamento, sempre considerados os valores máximos autorizados, para os parâmetros de transmissão da estação analisada.

É utilizado nas medições um medidor isotrópico de banda larga, devidamente calibrado, caracterizando a intensidade do campo elétrico ou densidade de potência da onda incidente no local de medição.

INICIO DOS TRABALHOS

As medições serão iniciadas conforme agenda do departamento de engenharia, geralmente 10 dias após o recebimento do pedido de compra e fornecimento dos dados solicitados no item "**DOCUMENTAÇÃO NECESSÁRIA**" desta proposta.

PRAZO DE ENTREGA

A entrega dos Laudos será 15 dias úteis após conclusão do trabalho de campo.

FORMATO DE ENTREGA DOS LAUDOS TÉCNICOS.

Os Laudos serão entregues no formato de mídia eletrônica e em uma via impressa encadernada, assinada e com cópia autenticada da ART (uma para cada Município/Estado e por tipo de trabalho (teórico, medido, ruído aterramento)

VALORES

São Paulo

- *Medições e/ou Práticos de Campos Eletromagnéticos (9 kHZ a 3 GHz): R$ 2.350,00.*

IMPOSTOS

Valores com todos os impostos inclusos, despesas de deslocamento e diárias dos especialistas da ABRICEM.

CONDIÇÕES DE PAGAMENTO

- 50% 15 dias no aceite da proposta
- 50% 15 dias após a entrega dos Laudos Técnicos.

DOCUMENTAÇÃO NECESSÁRIA

Devem ser fornecidos, em mídia eletrônica, os seguintes dados:

- Denominação, endereço e coordenadas geográficas (GPS) de cada estação.
- Potência de transmissão (ERP)
- Freqüência de transmissão (canais/portadoras).
- Tipo, modelo, ganho e altura da antena.
- Diagrama de irradiação (horizontal/vertical) da antena.
- Hora de Maior Movimento (HMM) aproximada.
- Projeto original com ART do SPDA.

VALIDADE

Esta proposta tem validade de 20 dias.

OBSERVAÇÕES FINAIS

A ABRICEM como entidade sem fins lucrativos está isenta de impostos e emissão de Nota Fiscal, conforme Lei n.º 9532 de 10/12/1977. Será emitida uma fatura/recibo com o valor dos serviços.

Permanecendo a sua disposição para quaisquer esclarecimentos que se façam necessários.

Atenciosamente,

Eliane de Oliveira
Depto Administrativo

5.2 – NEGER TELECOM

Assunto:	Data:	Referência:
Laudos Radiométricos - Regulatório	20/01/2010	MA-9069
Responsável:	Revisão:	Página:
Antonio Eduardo Ripari Neger	Igor Bahamonde	1 de 12

Objetivo

Este documento visa prover informações básicas dos serviços prestados pela NEGER Telecom no segmento de Engenharia de Radiofreqüência, Laudos Radiométricos e Análise Regulatória.

Introdução

O crescimento das redes de telecomunicações tem provocado na população e nos gestores públicos dúvidas e preocupação a respeito dos níveis seguros de radiação eletromagnética e seus potenciais efeitos à saúde. A OMS, Organização Mundial da Saúde, órgão da ONU para assuntos de saúde pública, definiu os limites para a exposição humana da população em geral a radiações não ionizantes. No Brasil, a ANATEL, Agência Nacional de Telecomunicações, ratificou estes limites, estabelecendo a regulamentação federal no país.

Por ser tecnicamente complexo, o assunto tem gerado discussões, contenciosos judiciais, embargo de torres e muita legislação conflitante. Existe, portanto, a necessidade de informação técnica precisa para a população e principalmente a realização contínua de medições de campo que comprovem a segurança dos níveis de radiação eletromagnética emitidos pelas antenas.

Equipe e Estrutura

A NEGER Telecom possui uma equipe multidisciplinar com ampla experiência na área de Engenharia de Radiofreqüência e Telecomunicações, apta a formular laudos e pareceres sobre os impactos ambientais, sociais e econômicos dos sistemas de telecomunicações.

Contando com profissionais pós graduados pelas mais respeitadas instituições do país, a equipe da NEGER Telecom alia conhecimento técnico e regulatório, sendo capaz de elaborar análises teóricas e medições de campo com rapidez, confiabilidade e credibilidade.

Trata-se de uma das poucas empresas no país a possuir o instrumental completo para medição isotrópica de campo eletromagnético pelo método da varredura planar, nos termos da Resolução 303 / 2002 da ANATEL.

Serviços e Referência de Custos

Serviços	Custo *
LAUDO RADIOMÉTRICO OBJETO: Elaboração de relatórios onde são apresentados os resultados dos cálculos teóricos e das medições radiométricas efetuadas localmente, conforme a Resolução Anatel 303 de 02 de Julho de 2002, na vizinhança de Estações Rádio Base. Inclui o escopo do fornecimento emissão de ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) junto ao CREA. MÉTODO DE MEDIÇÃO: As medições serão executadas com medidor de campo devidamente calibrado e adotando-se o método de varredura planar, conforme exigido na Resolução 303 da Anatel. O período de medição se estenderá por 6 minutos em cada ponto considerado, observando-se os picos nos valores e a média destes valores para determinação do atendimento. Todos os pontos medidos serão fotografados e determinadas suas posições em gráfico. Durante a medição também será observado o atendimento das distâncias mínimas exigidas para o público e para fins ocupacionais, verificando-se a existência de barreiras físicas e avisos. As medidas serão executadas em pontos situados em locais de acesso do público, pontos estes escolhidos nos locais onde os níveis de densidade de potência são os mais elevados, conforme a posição e proximidade das antenas. Para estações rádio base serão considerados os azimutes de cada setor.	**R$ 915,00**